

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Diplomová práce

2018

Bc. Tomáš Puda

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy
Katedra automatizační techniky a řízení

Distribučovaný sběr jízdních dat z automobilu

Distributed Data Logger for a car

Student:

Bc. Tomáš Puda

Vedoucí diplomového projektu:

Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Puda**
Studijní program: **N3943 Mechatronika**
Studijní obor: **3906T006 Mechatronické systémy**
Téma: **Distribuovaný sběr jízdních dat z automobilu**
Distributed Data Logger for a Car
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Popište existující distribuované systémy snímačů používané pro diagnostiku automobilů v projektech formule SAE a v motorsportu.
2. Analyzujte možnosti využití průmyslových sítí pro distribuovaný sběr dat v automobilu.
3. Analyzujte možnosti využití procesorových desek a modulů ve srovnání s vlastním návrhem desek pro potřeby sběru dat v automobilu.
4. Realizujte distribuovanou sestavu snímačů s centrální jednotkou, umožňující sběr dat z jedoucího automobilu a zaručující jednotné vzorkování signálů.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhnete další směr rozvoje.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ŠKUTA, Jaromír. *Návrh distribuovaných řídicích systémů a jejich komunikační vazby: teze habilitační práce k habilitačnímu řízení v oboru Řízení strojů a procesů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3968-4.
- JURÁNEK, Martin. *Měření na vozidlech a jejich diagnostika v reálném čase*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3007-0.
- GERTZ, Emily a Patrick DI JUSTO. *Environmental monitoring with Arduino*. Sebastopol: O'Reilly, 2012. ISBN 978-1-449-31056-1.
- ZAMAN, Najamuz. *Automotive electronics design fundamentals*. Cham: Springer, 2015. ISBN 978-3-319-17583-6.
- REIF, Konrad a Karl-Heinz DIETSCHKE. *Automotive handbook. 9th Edition, revised and extended*. Karlsruhe: Robert Bosch, 2014. ISBN 978-1-119-03294-6. KÜHNER, Jens. *Expert .NET Micro Framework*. Berkeley: Apress, c2008. ISBN 978-1-59059-973-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry




Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne:

.....

podpis

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ведоми, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ведоми, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne:

.....

podpis

Tomáš Puda

Mlýnská 299

Velké Hoštice, 747 31

Poděkování

Děkuji především panu Ing. Jiřímu Kulhánkovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a pomoci při přípravě mé diplomové práce.

ANOTACE

PUDA, T. *Distribučovaný sběr jízdních dat z automobilu*, diplomová práce, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2018, 87 s. Vedoucí práce: Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá distribuovanými systémy pro sběr jízdních dat z automobilu. V práci je proveden průzkum a analýza současného trhu s komerčně prodávanými systémy pro sběr jízdních dat, včetně popisu nejvíce využívaných snímačů pro oblast motorsport. Následuje rozbor a popis komunikačních sběrnic využívaných pro oblast automotive. Poslední část je pak věnována vývoji vlastního řešení distribuovaného systému pro sběr jízdních dat s využitím různých typů mikroprocesorů a možností sledování dat v reálném čase na vzdáleném PC.

Klíčová slova: CAN Bus, Automotive, Datalogger, Telemetrie, Arduino, PIC, STM32

ANOTATION

PUDA, T. *Distributed Data Logger for a car*, Master Thesis, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2018, 87 p. Supervisor: Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.

This diploma thesis focus on distributed systems for collecting driving data from a car. In this thesis is conducted a survey and analysis of the current market with commercially sold systems for collecting driving data including a description of the most used sensors in the field of motorsport. The following is an analysis and description of the communication buses used in the automotive field. The last part is devoted to the development of a self developed distributed system solution for collecting driving data using different types of microprocessors and real-time data tracking capabilities on a remote PC.

Key words: CAN Bus, Automotive, Datalogger, Telemetry, Arduino, PIC, STM32

OBSAH

Obsah.....	7
Seznam použitých zkratek.....	9
Seznam použitých značek.....	11
Úvod	12
1.1 Formula TU Ostrava	13
1.2 Pravidla a hodnocení	13
2 Komerční distribuované systémy	14
2.1 Bosch Motorsport.....	15
2.2 MoTeC	17
2.3 Aim.....	19
2.4 Vector.....	20
2.5 Shrnutí a porovnání	21
3 Snímače v oblasti motorsport	22
3.1 Snímače vzdálenosti a úhlu natočení	22
3.1.1 Lineární potenciometr.....	22
3.1.2 Bezkontaktní laserové měření vzdálenosti	23
3.1.3 Kabelový potenciometr.....	23
3.1.4 Snímače úhlu natočení	23
3.2 Snímače teploty	24
3.2.1 NTC a PT	24
3.2.2 IR bezkontaktní snímače teploty.....	25
3.3 Snímač rychlosti.....	25
3.4 Snímače tlaku	26
3.5 Akcelerometr a gyroskop	26
4 Typy sběrnic v oblasti automotive	27

4.1	CAN Bus (Controller Area Network)	29
4.2	LIN	32
4.3	FlexRay	33
4.4	MOST.....	38
4.5	Automotive Ethernet (BroadR-Reach).....	39
5	Vývojové platformy.....	43
5.1	Arduino	43
5.2	Teensy	44
5.3	Beaglebone.....	44
5.4	Mikroprocesory	45
6	Návrh a realizace distribuovaného systému	47
6.1	Volba snímačů.....	48
6.2	Volba vývojové platformy	55
6.3	Vývoj firmware	57
6.4	Zobrazování dat v reálném čase	65
6.5	Vývoj hardware	68
	Závěr.....	72
	Seznam použité literatury	73
	Seznam obrázků a tabulek	78
	Seznam příloh.....	82

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADC	- Analogově-číslicový převodník
CAN	- Sběrnice využívaná v automobilové technice a průmyslu
DMA	- Sběrnice pro přímý přístup do paměti mikroprocesoru
ECU	- Elektronická řídicí jednotka
EMI	- Elektromagnetická interference
GPIO	- Univerzálně vstupní/výstupní porty
I ² C	- Multi-masterová nízko rychlostní sériová sběrnice
IrDA	- Infračervený komunikační port
LCD	- Typ zobrazovacího displeje
LED	- Světlo emitující dioda
LIN	- Lokální komunikace v automobilech
LVDS	- Nízko napěťová diferenciální sběrnice
MCU	- Mikroprocesor, mikrokontrolér
MOST	- Sběrnice pro přenos mediálních dat
MEMS	- Miniaturní elektro-mechanické systémy
NTC	- Negativní teplotní koeficient
OEM	- Označuje produkt originálního výrobce
PWM	- Pulzně šířková modulace
RFI	- Rádiová frekvenční interference
RPM	- Počet otáček za minutu
RS 232	- Typ sériové komunikace
SPI	- Typ sériové komunikace
SRAM	- Statická paměť realizována bistabilním klopným obvodem
SWD	- Typ debugovací sběrnice pro mikročipy STM32

UART	- Univerzální asynchronní sériová komunikace
USB	- Univerzální rozhraní pro připojení periférií k PC
Wi-Fi	- Označení bezdrátové komunikace v počítačových sítích

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

A, mA	- Ampéry, miliampéry
°C	- Celsius
GB, MB, kB	- Gigabajt, megabajt, kilobajt
Gb, Mb, kb	- Gigabit, megabit, kilobit
GHz, MHz, kHz, Hz	- Gigahertz, megahertz, kilohertz, hertz
km, m	- Kilometr, metr
s, ms	- Sekunda, milisekunda
V, mV	- Volt, milivolt

ÚVOD

Tento projekt je zaměřen na práci s distribuovanými systémy a jejich možnostmi využití pro projekt Formula Student. Smyslem distribuovaného systému je spolupráce několika různých komponentů pro dosažení společného cíle, v tomto případě sběr jízdních dat ze závodního monopostu Vector 04, vyvinutého týmem Formula TU Ostrava na VŠB – Technické Univerzitě v Ostravě. Cílem je tedy vytvořit vlastní návrh telemetrie vozu s bezdrátovým přenosem dat do PC, kde bude možno tato data také zobrazovat v reálném čase.

Projekt Formula Student je mezinárodní soutěž technických univerzit, ve které má tým studentů bakalářských a magisterských oborů za úkol navrhnout a postavit jednomístný závodní vůz, podle příslušných pravidel SAE International Rules, se kterým se následně zúčastní jednotlivých závodů. Soutěží se jak ve statických, tak i v dynamických disciplínách, které mají rozdílné hodnocení. Tím otestován jak samotný koncept vozu a také komunikace a spolupráce jednotlivých členů a týmu samotného.

Historie vzniku soutěže začíná v roce 1981, kdy soutěž vznikla ve Spojených Státech pod názvem Formula SAE (Society of Automotive Engineers). O 17 let později, v roce 1998, se soutěž dostala i do Evropy, a to pod názvem Formula Student, kde se první závody konaly ve Velké Británii na testovacím okruhu MIRA, později byl tento závod přesunut na okruh Silverstone. V následujících letech se pořádal další závod v Evropě, a to v německém Hockenheimringu, který se v dnešní době považuje za jeden z nejprestižnějších na světě. Každoročně se zde sejde více než stovka týmů z celého světa. Od roku 2013 soutěž pronikla také do Česka, kde se první závody konaly v Hradci Králové, který se po dvou letech přesunul na závodní polygon v Mostě.

Od roku 2010 se také pořádají závody pro kategorii formulí poháněných elektromotory. Další významná změna poté přišla v roce 2017, kdy vznikla nová kategorie bezpilotních formulí driverless. První závody autonomních formulí se uskutečnily v Německu, který probíhá současně s kategorií spalovacích i elektrických formulí.

V současné době je v kategorii combustion více než pět set týmů z celého světa, v kategorii electric pak přes sto týmů a v kategorii driverless patnáct týmů. V České republice je momentálně pět týmů v kategorii combustion a jeden tým v kategorii electric.

1.1 Formula TU Ostrava

Tým Formula TU Ostrava byl založen v roce 2013. V týmu jsou zapojeni studenti téměř všech fakult VŠB TUO a aktuálně čítá 20 členů. V roce 2015 byl představen první prototyp studentské formule se spalovacím motorem. Druhý prototyp, Vector 02, byl odhalen na jaře 2016 a třetí prototyp, Vector 03, byl představen následujícím rokem.



Obr. 1 – Monopost týmu Formula TU Ostrava Vector 03

1.2 Pravidla a hodnocení

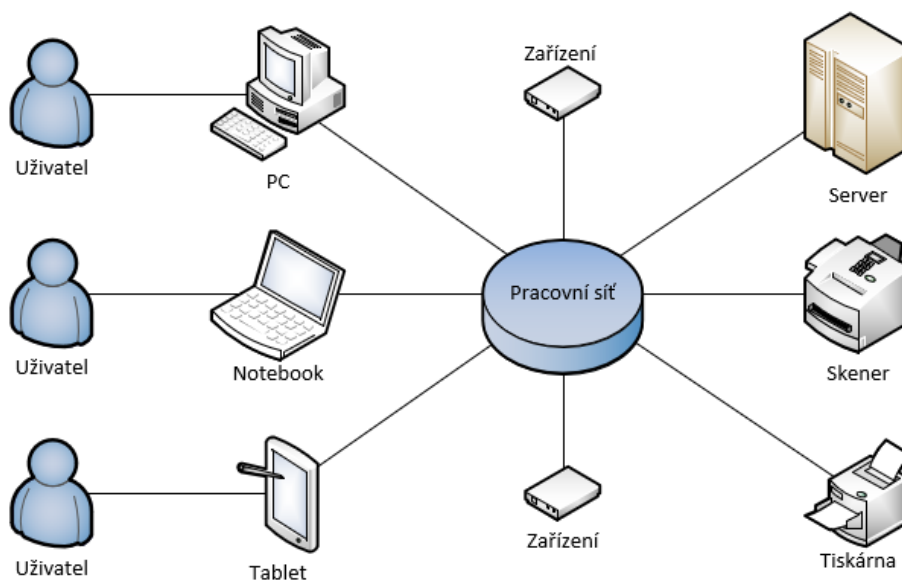
Celá soutěž je omezena přísnými pravidly, aby především nedošlo k ohrožení bezpečnosti. Proto je každým druhým rokem vydána nová verze pravidel, které jsou striktní a stejné pro všechny zúčastněné týmy. Před registrací k samotnému závodu jsou týmy nuceny dokázat znalost pravidel a technických znalostí splněním vstupního testu, bez kterého není možno se závodu zúčastnit.

Pravidla jsou rozdělena do několika částí, z nichž se každá zaměřuje na jinou část monopostu, kde je přesně definováno, co je povoleno a co naopak zakázáno. Před každým závodem jsou všechny části monopostu důkladně zkontrolovány komisaři, zda vyhovují pravidlům.

2 KOMERČNÍ DISTRIBUOVANÉ SYSTÉMY

Distribuovaný systém je takový systém, ve kterém jsou jeho jednotlivé komponenty propojeny sítí (Obr. 2). Jednotlivé komponenty pak mezi sebou komunikují pomocí posílání zpráv po datové sběrnici. Smyslem distribuovaného systému je spolupráce všech jeho komponentů k dosažení nějakého společného cíle, v tomto případě ke sběru jízdních dat automobilu.

Hlavní charakteristikou distribuovaných systémů je absence sdílené paměti. Důležitou vlastností systému je zachování jeho funkčnosti při výpadku jednoho nebo několika uzlů – zdroje, resp. úkoly jsou přerozděleny mezi ostatní uzly systému. Výpadek může zhoršit chování systému. Struktura systému (topologie, počet uzlů nebo latence) nemusí (a často není) známa předem.



Obr. 2 – Schématické znázornění distribuované sítě

2.1 Bosch Motorsport

Mezi nejznámější a nejrozšířenější distribuované systémy patří Bosch Motorsport. Nejnovější model ze sekce dataloggerů má označení Bosch Motorsport C70 (Obr. 3), který pro připojení do sítě pro sběr informací využívá sběrnice Ethernet a CAN. Další parametry jsou vypsány v tabulce 1. Software pro zpracování dat se nazývá WinDarab, který je poskytován zcela zdarma.

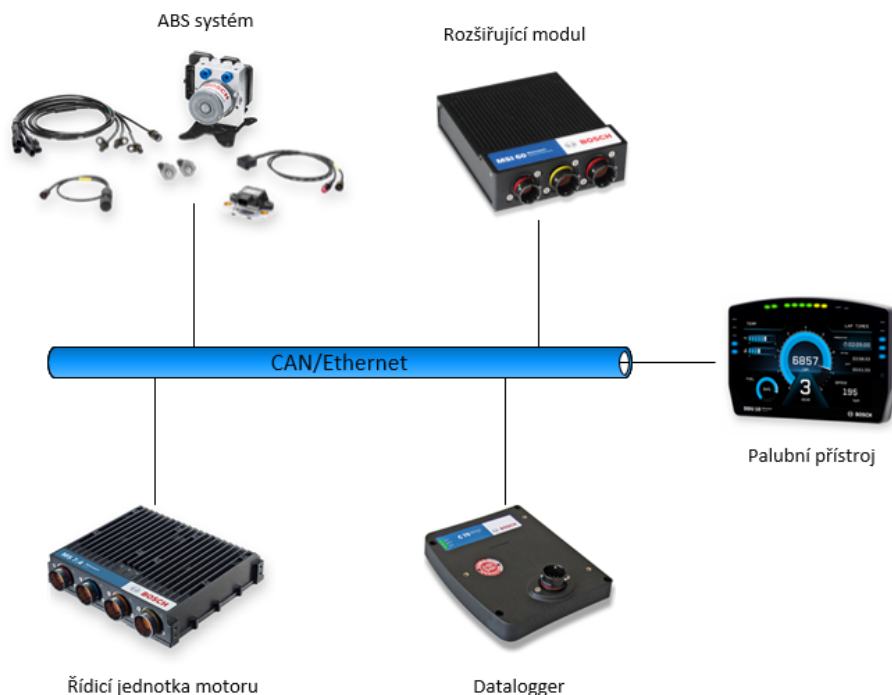


Obr. 3 – Datalogger Bosch-Motorsport C70 (Bosch Motorsport, 2018)

Tabulka 1 – Technické parametry jednotky C70 (Bosch Motorsport, 2018)

Procesor	667 MHz Dual Core
Převodníky	8 kHz AD digitální low pass filtr
Vnitřní zdroj	Li/Ion kapacitor
Perioda vzorkování	Max. 1 ms
Rychlost ukládání dat	Max. 600 kB/s
Počet ukládacích kanálů	1,040
Kapacita vnitřní paměti	3 GB (standardně), 1 GB (volitelná)
LTE Ethernet podpora, GSM podpora	
RS232 pro připojení GPS and telemetrie	
Napájecí napětí	5 až 18 V
Vstupy	
Analogové kanály	4 standardně, dalších 12 volitelně
Vstupní rozsah	0 až 5 V
Rozlišení převodníku	12 bit
Vstup pro rychlosti kol	4 Hallovy snímače
Výstupy	
Napájení snímačů 5 V \pm 1 % (250 mA)	2
Napájení snímačů 10 V \pm 1 % (250 mA)	1

Jako další možnost datového systému pro ukládání jízdních dat, lze využít plně programovatelný palubní přístroj DDU10 (Obr. 4), který disponuje pro připojení dalších zařízení sběrnici Ethernet, CAN bus a také RS 232. Mezi základní funkce patří ukládání dat z 50 různých kanálů se vzorkovací periodou 50 ms do vnitřní paměti o velikosti 3 GB, nicméně může být jednotka odemknuta pro možnost vzorkovací periody 1 ms. Disponuje také možností aktivace druhého oddílu pro ukládání dat s vnitřní pamětí 1 GB. Pomocí příslušného softwaru je možné zcela nakonfigurovat grafiku částí a oddílů jednotlivých stránek displeje.



Obr. 4 – Schéma distribuované sítě s komponenty Bosch Motorsport

Bosch Motorsport nabízí spoustu dalších komponentů, které jsou plně konfigurovatelné a kompatibilní pro správnou funkci v síti (Obr. 4). Mezi ty zásadní patří například jednotka pro řízení chodu motoru (zážehový nebo vznětový), kamerový systém, ABS systém, systémy chlazení a také rozšiřující moduly, které obsahují další analogové porty a komunikační sběrnice. Bosch Motorsport také dodává širokou škálu snímačů, cívek zapalování, vstřikovačů a akčních členů jako jsou alternátory, elektronické klapky, startéry apod.

2.2 MoTeC

Mezi další velmi rozšířené výrobce v oblasti motorsportu patří firma MoTeC, která se specializuje především na samotný vývoj řídicích jednotek, dashboardů a telemetrických systémů a dataloggerů (Obr. 5), nicméně velkou část svého vývoje také soustředila do vývoje snímačů pro měření poměru směsi paliva a vzduchu, tedy lambda sondy a dalších základních snímačů.

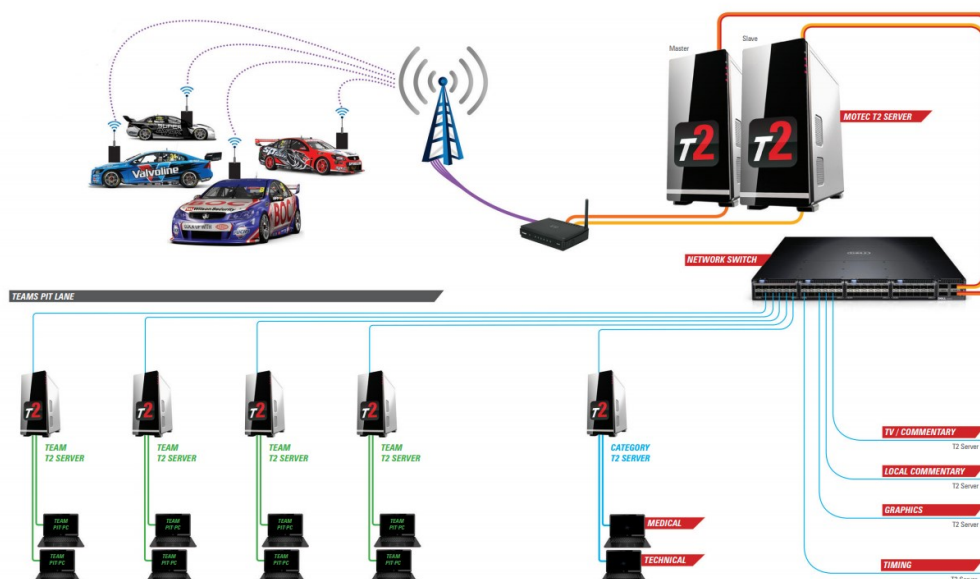


Obr. 5 – Datalogger MoTeC EDL3 (MoTeC, 2018)

Tabulka 2 – Technické údaje jednotky MoTeC EDL3 (MoTeC, 2018)

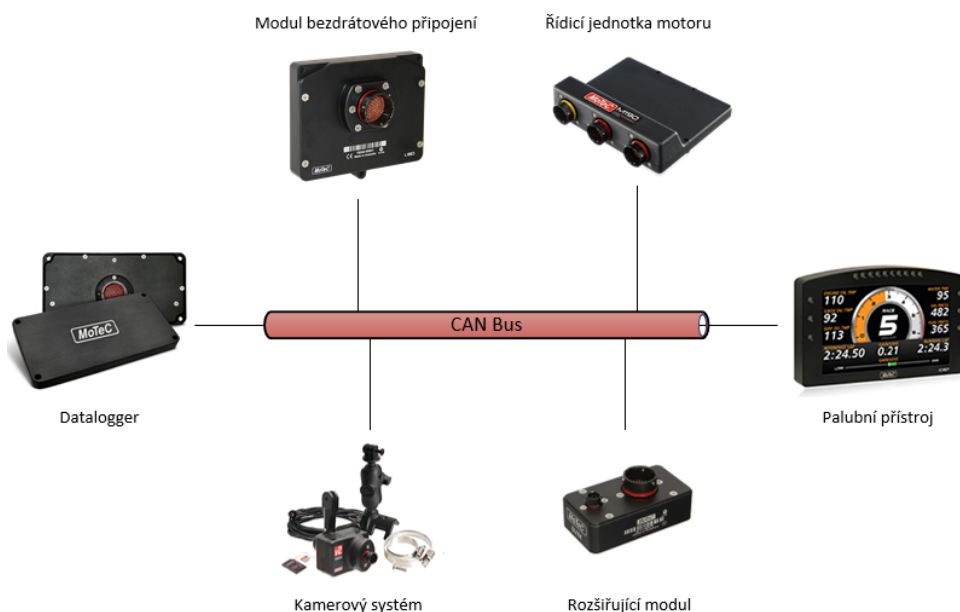
Ukládání	16 MB vnitřní paměť pro ukládání dat (250 MB volitelně)
	Vzorkovací frekvence až 1 kHz
Vstupy	10x Analogový (24 volitelně)
	4x Analogový pro měření teplot (8 volitelně)
	4x Digitální
	4x Digitální pro měření rychlosti kol
Výstupy	4x PWM (8 volitelně)
Vnitřní snímače	3osý akcelerometr s rozsahem ± 5 g
	Napětí baterie
	Snímač teploty
Komunikace	2x CAN s nezávislými rychlostmi
	1x RS232

Oproti výrobci Bosch Motorsport však nedisponuje tak rozsáhlým výběrem snímačů a dalších podpůrných systémů. Nicméně nabízí telemetrický systém MoTeC T2 (Obr. 6), který umožňuje odesílání všech dat na datové servery výrobce, odkud je možno data dále distribuovat do internetové sítě, kde výrobce garantuje přenos dat v reálném čase. Týmy tak mají možnost sledovat veškerá data v reálném čase a dle potřeby provádět příslušné korekce.



Obr. 6 – Schéma sítě telemetrie MoTeC T2 (převzato z MoTeC, 2018)

Tak jako předchozí výrobce, tak i tento nabízí možnost integrovaného data logovacího systému v palubním přístroji MoTeC C187 (Obr. 7), taktéž disponující plně programovatelným grafickým prostředím s rozlišením 800 x 480. Dále má 250 MB vnitřní paměť pro data a vzorkovací frekvencí až 1 kHz. Komunikaci obsluhují 4 samostatně konfigurovatelné CAN sběrnice a dvojice RS 232 sběrnic. Výrobce také nabízí další moduly a systémy, které je možno připojit do distribuované sítě, jako třeba kamerový systém nebo rozšiřující modul analogových a digitálních vstupů a výstupů.



Obr. 7 – Schéma distribuované sítě s komponenty MoTeC

2.3 Aim

Firma Aim Technologies patří jako další mezi známé výrobce ve sběru a zpracování jízdních dat. V podstatě v jakémkoli odvětví motorsportu, především automobily, dragstery, motokáry, motocykly a vodní skútry. Výrobce Aim se stejně jako předchozí výrobci zaměřují především na vývoj dataloggerů (Obr. 8) a dashboardů, nicméně nabízí velkou škálu dalších rozšiřujících modulů pro své systémy, včetně softwaru pro nastavení a mnoha snímači různých veličin. Výhoda této jednotky je integrace Wi-Fi, a tedy možnost bezdrátového připojení pro odesílání dat z paměti a konfiguraci.

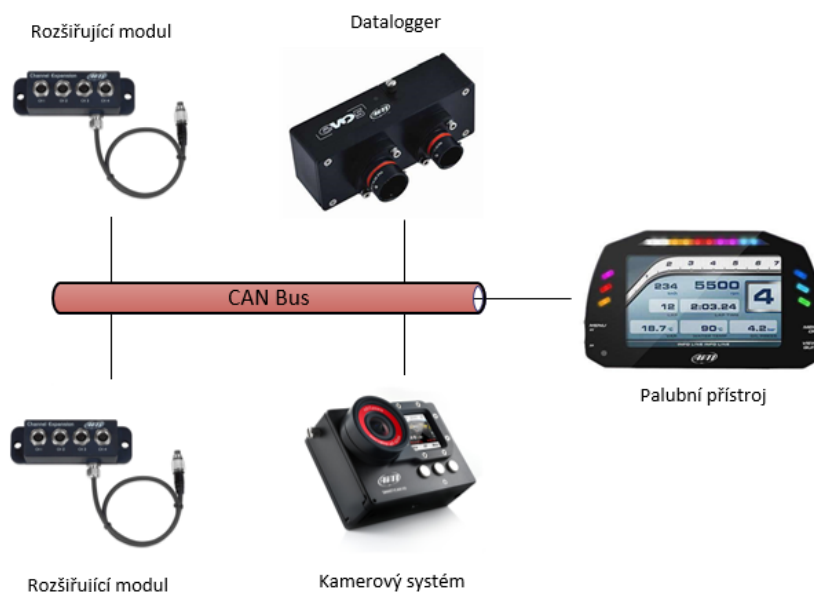


Obr. 8 – Datalogger Aim EVO5 (Aimshop, 2018)

Tabulka 3 – Technické údaje jednotky Aim EVO5 (Aimshop, 2018)

ECU sběrnice	2x CAN, RS232, K-Line
Rozšiřující moduly	GPS, modul analogových vstupů, Lambda controller, SmartyCam HD
Analogové vstupy	8x nastavitelné: 0-5 V, 0-12 V, Termistory. Max. freq. 1 kHz
Digitální vstupy	RPM a 4 rychlostní vstupy
Integrované snímače	3osý akcelerometr $\pm 5G$, 3osý gyroskop
Wi-Fi	Ano
Vnitřní paměť	4 Gb
SD karta	až 128 Gb
Digitální výstupy	2, až do 1 A každý
Obal	Hliník
Rozměry	114.4x47.2x58.8 mm
Hmotnost	300 g
Odolnost	IP65

Stejně jako předchozí výrobci i tento nabízí velkou škálu palubních přístrojů s možností integrovaného dataloggeru. Jedním z nich je například palubní přístroj MXS Strada (Obr. 9), který disponuje sběrnici CAN, RS232 a K-Line. Je také možné jej plně konfigurovat pomocí softwaru dodávaného výrobcem.



Obr. 9 – Schéma distribuované sítě s komponenty Aim

Výrobce Aim oproti předchozím dvěma výrobcům nenabízí tak širokou škálu komponentů a rozšiřujících modulů, je však možno od výrobce sestavit balíček obsahující všechny základní potřebné komponenty.

2.4 Vector

Mezi poslední z vybraných výrobců, který se zaměřuje na sběr a analýzu jízdních dat v oblasti automotive je firma Vector. Firma se však zaměřuje především na vývoj hardware a software pro analýzu a vývoj v oblasti automotive. Jako jediný ze zmíněných výrobců má také podporu v ostatních vývojových softwarech, jakým je například Matlab/Simulink.



Obr. 10 – Datalogger Vector GL1000 (Vector, 2018)

Tabulka 4 – Parametry dataloggeru Vector GL1000 (Vector, 2018)

Datové sběrnice	2x CAN
	2x LIN
	1x RS232
Digitální vstupy a výstupy	2x
Start-up čas	150 ms
Přenos dat	SD karta
	USB
Kapacita paměti	Až 32 Gb (SD/SDHC)
Speciální funkce	CCP/XCP (Seed & Key)
	GPS
	LIN
	Diagnostika (UDS, KWP2000)
Klávesnice, Displej	Externí displej
Teplotní rozsah	-40 °C do +85 °C
Analogové vstupy	4x

2.5 Shrnutí a porovnání

V této kapitole je shrnutí a porovnání čtyř velmi známých výrobců komerčně prodávaných distribuovaných systémů, z nichž první tři výrobci se specializují na oblast motorsport a poslední na celkovou diagnostiku automobilů.

Bosch Motorsport nabízí v podstatě veškerý sortiment komponentů a systémů, které lze v motorsportu využít, oproti ostatním výrobcům nabízí také například kompletní ABS systém, systém chlazení, elektronickou klapku, alternátory, startéry a spoustu dalších komponentů.

Oproti tomu se výrobce MoTeC specializuje spíše na vývoj samotných řídicích a diagnostických jednotek. Nenabízí tedy tak široký sortiment senzorové techniky, nicméně disponuje širokou škálou řídicích jednotek motoru (vznětové nebo zážehové) a dataloggerů. Oproti ostatním výrobcům také nabízí systém T2 Telemetry, který umožňuje odesílání všech dat na datové servery výrobce, odkud je možno data dále distribuovat do internetové sítě, kde je výrobcem garantovaná možnost sledování data v reálném čase.

Výrobce Aim oproti dvěma předchozím výrobcům nedisponuje žádnými speciálními technologiemi, avšak je možné u výrobce nakoupit balíček komponentů, jež obsahuje všechny základní systémy jako jsou dataloggery, palubní přístroje, rozšiřující moduly a celá řada snímačů.

Výrobce Vector se oproti předešlým výrobcům výrazně liší v nabízeném sortimentu, jelikož se výrobce především specializuje na diagnostiku a testování elektronických systémů v automobilovém průmyslu.

3 SNÍMAČE V OBLASTI MOTORSPORT

V této kapitole jsou popsány nejrozličnější typy snímačů, které se nejčastěji využívají v oblasti motorsportu pro sběr dat. Snímače jsou rozděleny podle měření příslušné měřené veličiny. U všech typů snímačů je popsán základní princip, oblast použití a měřicí rozsahy.

3.1 Snímače vzdálenosti a úhlu natočení

Snímače vzdálenosti a úhlu natočení patří mezi základní měřicí prvky v oblasti sběru dat. Vyznačují se především rozsáhlým spektrem využití, jednoduchého principu, odolnosti a nízké pořizovací ceny. Použití je především v oblasti podvozku, pedálového ústrojí a natočení volantu.

3.1.1 Lineární potenciometr

Většina lineárních snímačů polohy má hliníkové těleso o průměru 9,4 mm a hřídel z nerezové oceli s koncovkami s různými typy připojení (Obr. 11). Konstrukce snímače je tvořena využitím technologie vodivé plastové dráhy a kontaktů s více prsty, snímače nabízejí vysoký výkon a spolehlivost i za extrémních teplot a vibrací. Odolnost lze specifikovat se standardním stupněm utěsnění IP65 nebo IP67. Typické aplikace těchto snímačů je měření zdvihů tlumičů a dále plynového, spojkového, či brzdového pedálu.

- Zdvih od 12,5 mm do 175 mm
- Průměr pouzdra 9.4 mm
- Max. zdvihová rychlost 10 m/s
- Životnost >25 milionů cyklů
- Max. napájecí napětí 40 V
- $\pm 0,5$ % linearita
- Vodivý plast
- IP65 nebo IP67



Obr. 11 – KP94B lineární potenciometr (KA Sensors, 2018)

3.1.2 Bezkontaktní laserové měření vzdálenosti

Řada RHL3 laserových senzorů (Obr. 12) je navržena tak, aby odolala náročnému prostředí s eloxovaným hliníkovým pouzdem s volbou elektrických konektorů. Skleněné čočky lze v případě poškození snadno vyměnit. Typické aplikace pro měření průhybu křídla, podvozku, karoserie, nastavení zavěšení.

- Měřicí rozsah 200 mm a 500 mm
- Teplotní rozsah 0-110 °C
- Výstupní signál 1–5 V
- Maximální frekvence 750 Hz
- Linearita $\pm 0,2$ %
- Odolnost IP67



Obr. 12 – RHL3 bezkontaktní laserový snímač vzdálenosti (KA Sensors, 2018)

3.1.3 Kabelový potenciometr

Řada KWP drátových potenciometrů (Obr. 13) je navržena tak, aby odolávala náročnému motorsportu a automobilovému prostředí. Tyto lineární senzory používají zatahovací drát z nerezové oceli a nabízejí vysokou linearitu a spolehlivost. Typické aplikace pro měření pohyb pedálu, úhel natočení volantu.

- Měřicí rozsah 50 mm do 1250 mm
- Linearita $\pm 0,5$ %
- Max. napájecí napětí 32 V
- Vnitřní odpor 1 kOhm ± 10 %
- Odolnost IP60
- Teplotní odolnost -30 °C–150 °C



Obr. 13 – KWP lankový potenciometr (KA Sensors, 2018)

3.1.4 Snímače úhlu natočení

Snímače úhlu natočení (Obr. 14) využívají technologii Hallový sondy, které nabízejí vysoký výkon a spolehlivost při teplotách až + 150 °C. Alternativně je schopen provozuschopnosti v chladném prostředí až do -25 °C. K dispozici je buď jeden (3vodičový)

nebo dvojitý (6vodičový) výstup. Modulární konstrukce umožňuje různé montážní uspořádání snímače a také důležité různé typy hřídelů / pohonů. Typické aplikace pro měření pozice pedálu, úhlu natočení volantu, pozice sekvenční převodovky.

- Měřicí rozsahy 30°, 60°, 120°, 240°, 360°
- Napájecí napětí 5 V nebo 6–30 V
- Výstupní signál 0,5–4,5 V
- Maximální frekvence 5 kHz
- Linearita $\pm 0,1^\circ$
- Odolnost IP65 nebo IP67
- Teplotní odolnost -25 °C–150 °C



Obr. 14 – KR22 snímač úhlu natočení (KA Sensors, 2018)

3.2 Snímače teploty

Další velmi důležitou oblastí sběru dat jsou informace o teplotách jednotlivých systémů. Nejčastěji se jedná o teploty motoru, olejového či chladicího okruhu, brzdových kotoučů a teploty pneumatik. Využívají jak kontaktní, tak bezkontaktní typy snímačů teplot, v případě kontaktního měření se může jednat o analogové i digitální zpracování výstupního signálu.

3.2.1 NTC a PT

Snímače teploty (Obr. 15) jsou navrženy tak, aby odolaly nejnáročnějšímu prostředí. Jsou k dispozici v širokém výběru materiálů (PT1000 nebo NTC) o různých typech závitů. Typické aplikace pro měření teplot oleje, paliva, brzdové kapaliny, chladicí kapaliny, motoru.

- Rozsah -30 °C–150 °C
- Doba odezvy <10 s
- Přesnost $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- PT1000 nebo NTC termistory
- Odolnost IP67
- Upevňovací závit: M6, M8, M10, M12



Obr. 15 – NTC1 snímač teploty (KA Sensors, 2018)

3.2.2 IR bezkontaktní snímače teploty

Mezi bezkontaktní snímače patří zejména typ infračervených snímačů, které se využívají pro bezkontaktní měření teploty pneumatik, uhlíkových a ocelových brzdových kotoučů, teploty spojky a motoru. Konkrétně tento modul KIR3 (Obr. 16) lze nastavit jako připravený k použití nebo lze využít software a naprogramovat dle vlastních požadavků.

- Měřicí rozsah: -20 °C do 1000 °C
- Přesnost $\leq \pm 1.5\text{ °C}$
- Napájení 5-28 V
- Výstupní signál 0-5 V
- Pracovní teplota -20 °C – 125 °C
- Třída ochrany IP65
- Plně programovatelný



Obr. 16 – KIR3 bezkontaktní infračervený snímač teploty (KA Sensors, 2018)

3.3 Snímač rychlosti

Nejčastějším typem snímače pro měření rychlosti (Obr. 17) se využívají Hallovy snímače pro měření změny magnetického pole. Ve spolupráci s ozubeným kolem osazeným magnety, které koná stejný rotační pohyb jako kolo. Snímač zpracovává změnu magnetického pole a spíná a rozpíná vnitřní tranzistor, který na výstupu generuje obdélníkový signál, který jednotka přepočítá na okamžitou rychlost. Frekvence obdélníkového signálu je přímo úměrná otáčkám kola.

- Frekvence snímače 1,5 kHz
- Měřicí vzdálenost 2 mm
- Maximální spínaný proud 100 mA
- Indikační LED
- Napájení 10–24 V
- Provozní teplota -40 °C – 70 °C
- Upevňovací závit M8 až M12
- Třída ochrany IP67



Obr. 17 – SP snímače rychlosti otáčení kol (KA Sensors, 2018)

3.4 Snímače tlaku

Snímače tlaku (Obr. 18) jsou další nejčastěji využívané typy snímačů v automobilovém průmyslu a oblasti motorsportu. Snímače pracují na principu kondenzátoru, který se změnou tlaku mění polohu jedné z kondenzátorových desek a tím dochází ke změně kapacity, integrovaná jednotka poté převádí signál z kapacity na výstupní analogový či digitální signál. Využití je především pro měření tlaků v sacím ústrojí, olejovém, chladicím, palivovém či brzdovém okruhu, atmosférického tlaku a také v diferenciálním režimu pro měření rychlosti větru.

- Rozsah 1–400 bar
- Napájení 5 V nebo 8–16 V
- Výstup 0,5–4,5 V
- Linearita $\pm 0,2\%$
- Pracovní teplota -20–150 °C
- Upevňovací závit M10



Obr. 18 – Snímač tlaku ASLA (KA Sensors, 2018)

3.5 Akcelerometr a gyroskop

Tyto snímače se využívají pro měření fyzikálních účinků rotačního a lineárního zrychlení. Pro dosažení tohoto cíle obsahuje snímač MEMS (Obr. 19) měřicí prvky připojené k příslušnému integrovanému obvodu. Otáčivé zrychlení kolem integrovaných snímacích prvků vytváří Coriolisovu sílu, která mění vnitřní kapacitu snímacích částí. Dále se používá k měření měrného zrychlení vozu ve všech 3 osách. Tato kombinace snímačů otáčení a lineárního zrychlení umožňuje přesné měření dynamiky vozidla.

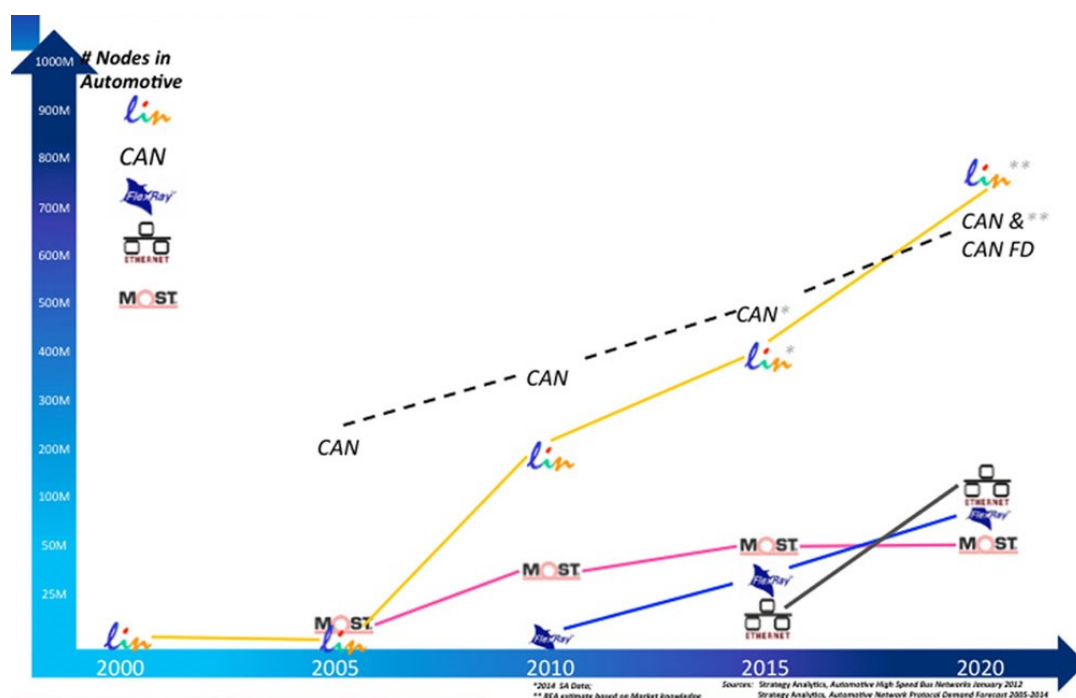
- 2osý snímač natočení $\pm 163^\circ/\text{s}$
- 3osý akcelerometr $\pm 4,2 \text{ g}$
- CAN – 1 Mb/s, 500 kb/s
- Napájení 7–18 V
- Provozní teplota -20–85 °C



Obr. 19 – MM5.10-R snímač zrychlení a náklonu (Bosch Motorsport, 2018)

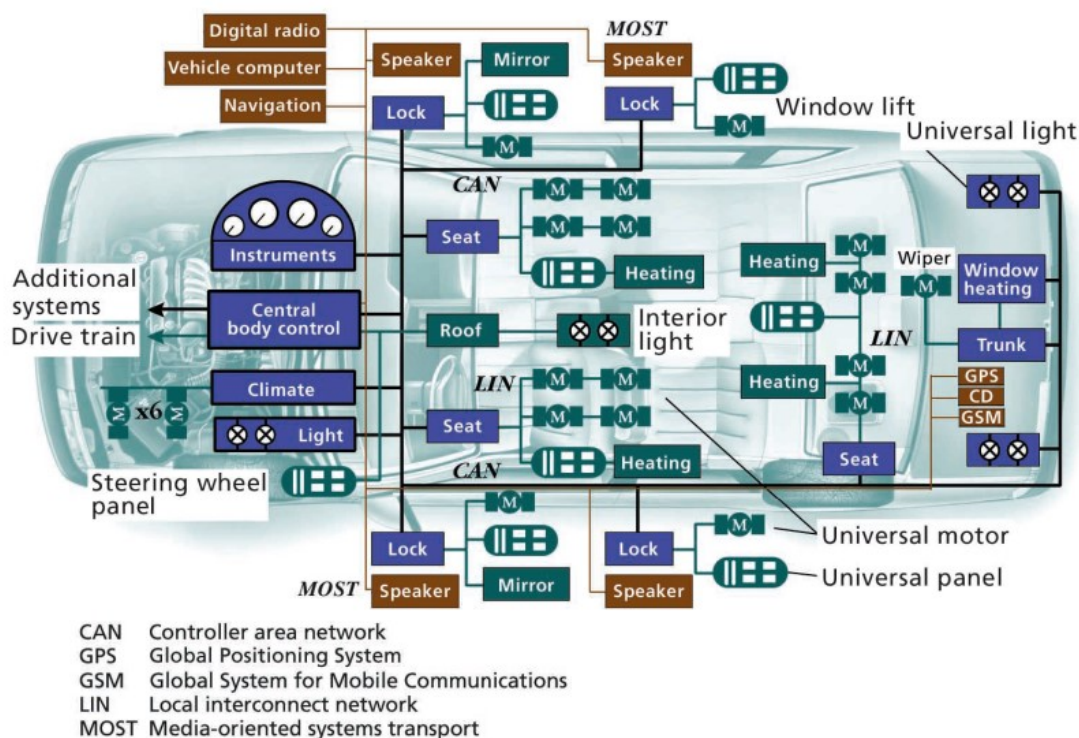
4 TYPY SBĚRNIC V OBLASTI AUTOMOTIVE

Komunikační sítě v automobilovém průmyslu si dodnes drží stejný rostoucí poměr již od doby, kdy první řídicí jednotky začaly „přemýšlet“ a začaly spolupracovat s ostatními jednotkami. Po dlouhá léta bylo rádio jediným elektronickým zařízením v automobilu, ale počínaje předpisy, které byly zavedeny s cílem snížit emise automobilů a růst odvětví vývoje polovodičů, se elektronika dostala do téměř všech aspektů vozu. Během posledního desetiletí (Obr. 20) protokoly jako je LIN (Local Interconnect Network) a CAN (Controller Area Network) rostou v popularitě i přestože existují protokoly s větší přenosovou rychlostí, jako jsou MOST (Media Oriented Systems Transport), FlexRay a Ethernet, tak byly přijaty mezi standardy v oblasti automobilové komunikace. Očekává se také, že sítě LIN a CAN budou nadále ovládat komunikaci vozidel v příštím desetiletí.



Obr. 20 – Křivka vývoje a použití komunikačních sběrnic (převzato z Miller, 2013)

V moderních autech se dnes nachází desítky řídicích jednotek, které si mezi sebou vyměňují tisíce různých dat. Pokud by všechny jednotky a snímače byly společně propojeny kabeláží každý zvlášť, celková délka kabeláže by dosahovala několika kilometrů. Použití sběrnic má celou řadu výhod, zejména pak snížení nákladů, složitosti výroby, sdílení dat všech snímačů, spolehlivost a mnoho dalších.



Obr. 21 – Typické rozmístění řídících jednotek s typy použitých komunikačních sběrnic (převzato z Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)

V dnešních dnech se v automobilech aktivně využívají tyto technologie:

- **CAN (Controller Area Network)** – K dispozici od roku 1983, CAN je sdílená sériová sběrnice běžící až do 1Mbps. Byla vyvinuta společností Bosch a standardizována ve více normách ISO. Má výhodu, že je poměrně levná a je velmi spolehlivá. Má nevýhody relativně nízké šířky pásma a je sdíleným médiem. CAN se používá v elektronice pohonu, podvozku a karoserie. (Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)
- **LIN (Local Interconnect Network)** – K dispozici od roku 2001, společnost LIN byla vyvinuta konsorciem automobilů a technologických partnerů. Stejně jako CAN je to sériová sběrnice. Provozuje pouze 19,200 baudů a vyžaduje pouze jeden sdílený drát (namísto 2 pro CAN). Na rozdíl od CAN, ve kterém jsou všechny uzly "stejně", LIN je architektura master-slave. Její hlavní výhodou je, že je nižší cena než CAN. LIN se často používá pro elektroniku karoserie (zrcadla, elektrické sedačky, příslušenství), protože je levná a požadavky na šířku pásma jsou velmi nízké. (Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)

- **FlexRay** – Je k dispozici od roku 2005 a sdílená sériová sběrnice běží až 10 Mb/s. Byla vyvinuta konsorciem FlexRay, skupinou poskytovatelů polovodičů, automobilů a infrastruktury. Na rozdíl od CAN, nedochází k chybě při obnově chyb – spíše se zachází se zpracováním chyb do aplikační vrstvy. Má výhodu, že má vyšší šířku pásma než CAN, ale nevýhodu vyšších nákladů a sdílených médií. Systém FlexRay se používá ve vysoce výkonných pohonných jednotkách a bezpečnostních prvcích (pohon po dráze, aktivní odpružení, adaptivní tempomat). (Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)
- **MOST (Transport Media Oriented Systems)** – K dispozici již od roku 2001, má MOST kruhovou architekturu, která běží až 50Mbps, a to buď pomocí propojovacích kabelů z vláken nebo mědi. Každý prsten může obsahovat až 64 MOST zařízení. MOST má výhodu nebo poměrně vysokou šířku pásma (na automobilovém trhu), ale je velmi nákladná. Používá se pouze pro připojení k fotoaparátu nebo videu. (Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)
- **LVDS (Diferenciální signalizace nízkého napětí)** – Definován v roce 1994, LVDS se na trhu automobilového průmyslu používá jako náhrada za většinu. Na rozdíl od MOST/LIN/FlexRay je LVDS sběrnice typu point-to-point (nikoli sdílená sběrnice). Má výhodu mnohem nižších nákladů než MOST a mnoho automechaniků jí začalo používat pro data z kamery a videa. Nevýhodou je, že každá sběrnice LVDS může být použita k rozhraní pouze jedné kamery nebo výstupu videa. (Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)

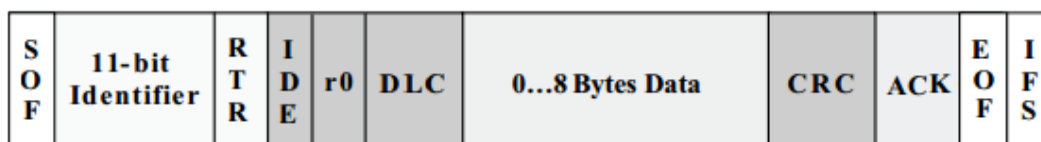
4.1 CAN Bus (Controller Area Network)

Protokol CAN Bus byl vyvinut společností BOSCH jako „multi-master“ komunikační systém, který zvládá maximální přenosovou rychlost 1 Mbit/s. oproti tradičním sběrnicím jako je například USB nebo Ethernet, sběrnice CAN neposílá velké datové bloky z jednotky do jednotky pod dohledem jednotky označené jako „master“. V síti CAN bus je vysíláno naopak mnoho krátkých datových paketů obsahující data např. teplot, otáček motoru apod. po celé síti a tím pádem má každá napojená jednotka přístup ke všem datovým paketům v síti. (Bartošík, 2001)

Jedná se o sériovou diferenciální a symetrickou sběrnici komunikující po dvou vodičích označovaných jako CAN-L a CAN-H. K sběrnici je možné připojit až 64 zařízení dosahující při komunikaci na vzdálenosti kratší jak 40metrů rychlosti až 1 Mb/s. Z popisovaných vlastností

jako jsou velká odolnost proti šumu, velká přenosová rychlost, možnost komunikace více uzlů a další není divu, že i když byla tato sběrnice původně navržena pro automobily, rozšířila se i do dalších průmyslových odvětví. Standard sběrnice CAN definuje pouze nejnižší dvě vrstvy ISO/OSI modelu, a to vrstvu linkovou a fyzickou, ale nedefinuje už vrstvu aplikační. Nicméně nedefinovaná aplikační vrstva je pro automobilový průmysl, který se snaží spíše o vzájemnou nekompatibilitu mezi jednotlivými výrobci, přínosem. S rozšířením této sběrnice i v jiných odvětvích se objevila tendence definovat i aplikační vrstvu, proto vznikl standard CAL (CAN Application Layer) z kterého později i standard CANopen a konkurenční DeviceNet. Oba tyto standardy aplikačních vrstev protokolu CAN nachází uplatnění jak ve vestavěných systémech, tak v průmyslové automatizaci. (Bartošík, 2001)

Standard CAN definuje dva typy zpráv, 2.0A a 2.0B. Specifikace 2.0A (Obr. 22) obsahuje pouze standardní zprávy, zatímco specifikace 2.0B obsahuje navíc i rozšířené zprávy. Tyto dva typy zpráv se liší především délkou identifikátoru, který je 11 bitů u jedné a 29 bitů u druhé specifikace (obr. 23). Rozdíl mezi těmito 2 specifikacemi je zobrazen na obr. 7 a obr. 8. Nejčastěji používané jsou datové zprávy. Tyto zprávy mohou obsahovat až 8 Bytů dat. Pokud bychom ve zprávě neodeslali žádná data, pouze identifikátor, jednalo by se o zprávu, kterou žádáme o poslání dat s identifikátorem totožným jako je identifikátor zasílané zprávy. Dalšími dvěma typy zpráv je zpráva o chybě a zpráva o přetížení, která je stejná jako zpráva o chybě, ale je vysílána ve chvíli kdy se začíná vysílat nová zpráva, tj. po obdržení konce předešlé zprávy.

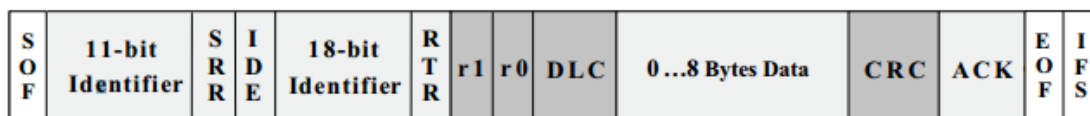


Obr. 22 – Datová struktura Std zprávy CAN (převzato z Corrigan S., 2016)

Význam jednotlivých bitových polí:

- **SOF (Start of Frame)** – Označuje počátek zprávy a k synchronizaci uzlů.
- **Identifier** – Označuje identifikátor zprávy. Značí také prioritu dané zprávy, čím nižší hodnota, tím větší priorita.
- **RTR (Remote Request)** – Slouží k rozlišení zprávy, zda jde o datovou zprávu (dominant) nebo žádost o přístup ke sběrnici (recessive).

- **IDE** – Jedná se o dominantní bit určující, zda se přenáší standardní nebo rozšířený identifikátor.
- **r0** – Rezervovaný bit (pro případné budoucí změny).
- **DLC** (Data Length Code) – Obsahuje délku datové zprávy
- **Data** – Je možné přenášet až 64 bitů aplikačních dat.
- **CRC (Cyclic Redundancy Check)** – Obsahuje kontrolní součet přenášených bitů jako detekci chyb.
- **ACK (Acknowledge)** – Každý uzel, který přijímá přesné zprávy, přepíše tento recesivní bit v původní zprávě s dominantním bitem, což znamená, že byla odeslána zpráva bez chyb. Pokud přijímající uzel detekuje chybu a ponechá tento bit recesivní, vyřadí zprávu a odesílající uzel opakuje zprávu po zpětném přepnutí. Tímto způsobem každý uzel potvrzuje integritu svých dat (ACK). ACK je 2 bity, jeden je potvrzovací bit a druhý je oddělovač.
- **EOF (End of Frame)** – Označuje konec zprávy a vyřezuje bitstuffing.
- **IFS (Interframe Space)** – Obsahuje čas požadovaný řadičem pro přesun přijaté zprávy do příslušného bufferu.



Obr. 23 – Datová struktura Ext zprávy CAN (převzato z Corrigan S., 2016)

Jak je znázorněno na obr. 23, tak rozšířená zpráva je stejná jako standardní s přidáním:

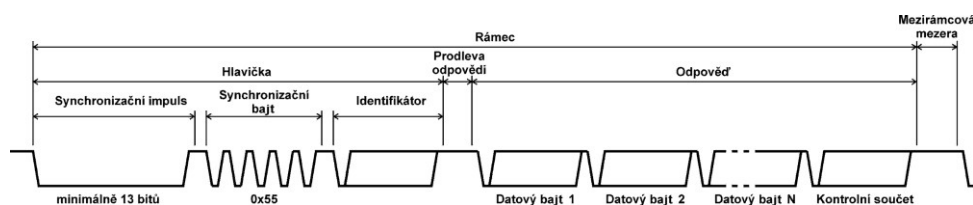
- **SRR (Substitute Remote Request)** – nahrazuje původní bit RTR ve standardním typu jako zastupující znak rozšířeného typu. To zajišťuje, aby při vzájemné kolizi standardního a rozšířeného formátu zprávy na jedné sběrnici se stejným 11bitovým identifikátorem, získal přednost standardní rámec.
- **IDE (Identifier Extension)** – Recesivní bit v rozšířeného identifikátoru označuje následování více identifikačních bitů.
- **r1** – Rezervovaný bit (pro případné budoucí změny).
- **Bit (RTR)** – udávající, zda se jedná o datovou zprávu nebo žádost o data je přesunut za konec druhé části identifikátoru.

4.2 LIN

LIN je jednoduchou jednovodičovou sběrnicí na bázi klasické sériové asynchronní komunikace UART/RS-232, vhodnou pro přímou komunikaci a přenos dat mezi řídicí jednotkou (PC), inteligentním smart senzorem a aktuátorem (například v podobě krokového motoru). Sériový přenos dat umožňuje implementaci na libovolném mikrokontroléru nebo PC.

Je to otevřený komunikační protokol primárně určený k propojování lokálních sítí v dopravních prostředcích (automobily, nákladní auta atd.), s možností využití v libovolných, pro tuto sběrnicí se hodících, aplikacích například v průmyslu. Specifikace zahrnuje jak definici protokolu a fyzickou vrstvu, tak i rozhraní pro vývojové nástroje a aplikační software. LIN umožňuje cenově efektivní propojení a sériovou komunikaci inteligentních (smart) senzorů a aktuátorů v embedded real-time systémech, kde není požadována velká přenosová rychlost, univerzálnost a robustnost složitějších sběrnic, jako například CAN. Komunikace je založena na SCI (UART) formátu dat, single-master/multi-slaves dialogu, jednovodičové sběrnici (nejčastěji 12 V) a časovou synchronizací bez stabilizované časové základny. LIN tedy poskytuje standardní low-cost síť pro komunikaci senzorů, ale cenou například 2krát až 3krát nižší v porovnání s CAN. V případě porovnání s CAN, by LIN měla být spíše komplement ke CAN, a ne ji plně nahradit. To je dáno odlišnými vlastnostmi obou sběrnic. (Vojáček A., 2004)

LIN používá jednotný formát rámce zprávy, který slouží k synchronizaci, adresaci uzlů a k výměně dat mezi nimi. Formát rámce zprávy je na Obr. 24. Řídicí jednotka (master) začíná komunikaci, určuje přenosovou rychlost a vysílá hlavičku rámce zprávy. Ostatní jednotky, ale i jednotka master mohou vysílat odpověď složenou z datových bajtů a kontrolního součtu. Hlavička začíná synchronizačním impulsem a následným synchronizačním polem. Toto pole slouží k synchronizování podřízených jednotek (slaves) na bitovou rychlost jednotky master. Tyto jednotky tak vystačí s jednoduchým zdrojem časové základny v podobě RC oscilátoru, což má kladný vliv na cenu jednotek slaves. (Sutorý, 2004)



Obr. 24 – Formát rámce zprávy protokolu LIN (převzato ze Sutorý, 2004)

Pro komunikaci lze použít maximální přenosovou rychlost 20 kb/s, která představuje horní limit při použití jednodrátového přenosového vedení vzhledem k EMI. Minimální přenosová rychlost je stanovena na 1 kb/s z důvodu předcházení problémům s praktickou implementací time-out period. Aby se usnadnila implementace do levných LIN zařízení, jsou k použití doporučeny 3 přenosové rychlosti, které jsou v tabulce 5. (Sutorý, 2004)

Tabulka 5 – Doporučené přenosové rychlosti protokolu LIN

Slow	2400 bit/s
Medium	9600 bit/s
Fast	19200 bit/s

Charakteristické rysy standardní konfigurace lze shrnout do následujících bodů:

- Sériový přenos dat využívající formát UART/RS-232
- Jednovodičová sběrnice
- Komunikace typu master-slave
- Propojení až 17 jednotek (1x master, 16x slave)
- Rychlost komunikace 2400 až 19200 bit/s
- Časová synchronizace bez stabilizované časové základny

4.3 FlexRay

Komunikační protokol FlexRay představuje vysokorychlostní datové propojení jednotlivých řízených aplikací hlavně v dopravních prostředcích. Proti hojně používaným sběrnicím typu CAN a LIN poskytuje větší přenosovou rychlost srovnatelnou s Ethernetem, zároveň však vyšší odolnost proti EMC. rušení a unikátní dvoukanálovou strukturu. Tedy přesně to, co dnes vyžaduje moderní průmyslová komunikace i v tak náročných aplikacích, jako je stále složitější elektronické řízení a komunikace komponent v automobilech. (Vojáček A., 2007)

Standard FlexRay, definován stejnojmenným konsorciem sdružujícím hlavní výrobce automobilů a jejich komponent (Daimler, Chrysler, BWM, General Motors, Ford, Volkswagen, Bosh, Freescale, Philips), je zajímavý také tím, že v sobě spojuje a vylepšuje prvky již nějakým způsobem dříve někde použité (princip TDMA, statický a dynamický přístup na sběrnici, či fyzické provedení sběrnice). Výsledkem je přenosový systém s unikátním systémem adresování a přístupem na sběrnici, kde je vše prakticky řízeno jen dvěma čísly/identifikátory. Výměna

zpráv je pak založena na deterministickém komunikačním cyklu a synchronizace komunikace je vysoce strukturována a založena na taktování společném pro všechny uzly a komponenty sběrnice. (Vojáček A., 2007)

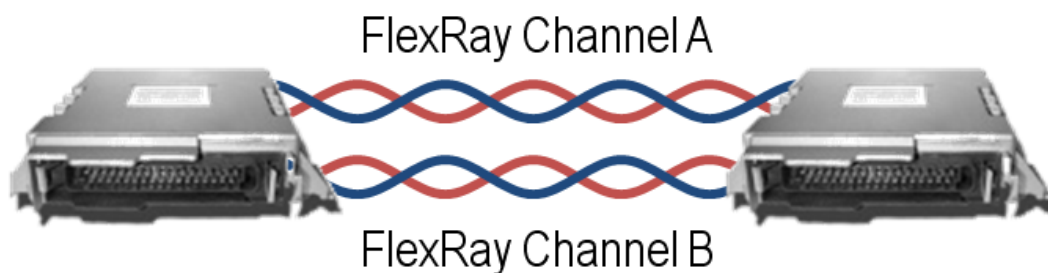
- Přenosová rychlost až 10 Mb/s
- Lze adresovat až 2047 uzlů v clusteru
- Vzdálenost mezi uzly až 24 m
- Sériový přenos pro dvou vodičové sběrnici
- Dva nezávislé kanály pro každou jednotku
- Zvýšená odolnost proti rušení (zabezpečení přenosu, diferenční přenos)
- Mnoho konfigurací možného přenosu dat
- Společná synchronizace všech jednotek v síti
- Jednoduchý nebo dvojitý vysílací a přijímací buffer
- Konfigurovatelný buffer od 2 do 254 bajtů
- Filtrace zpráv podle čísla/identifikátoru rámce, čítače cyklů a volbě kom. kanálu
- Služba dálkové "probuzení" libovolného uzlu
- Detekce chyb na úrovni budiče sběrnice
- Detekce chybovosti na úrovni vyšších vrstev

Sběrnice FlexRay umožňuje v rámci jednoho clusteru navrhnout několik různých typů topologií a komunikačních cest. FlexRay tak může být konfigurována jako jednokanálová nebo dvoukanálová sběrnice (single channel/dual channel bus network), síť typu hvězda (star network), nebo různé hybridní kombinace obou uvedených struktur. (Vojáček A., 2007)

Maximální délka sběrnice je dána následujícími kritérii:

- Maximální zpoždění přenosu 2,4 mikrosekund
- Maximální vzdálenost mezi uzly/komunikačními stanicemi 24 m
- Maximálně 3 vzájemně propojené aktivní hvězdy

Cluster se nejčastěji skládá ze dvou kanálů, označených jako kanál A a kanál B. Každý uzel v clusteru může být připojen jak ke kanálu A, tak kanálu B, nebo k oběma, přičemž všechny uzly připojené ke kanálu A jsou schopny komunikovat s ostatními uzly na kanálu A a stejně mohou vzájemně komunikovat i všechny uzly přepojeny ke kanálu B. Jestliže se uzel potřebuje připojit k více jak jednomu clusteru, pak komunikace s každým clusterem musí být prováděna prostřednictvím komunikačního řadiče. (Vojáček A., 2007)



Obr. 25 – Zapojení jednotek v síti FlexRay (převzato z National Instruments, 2016)

Topologie a rozvržení FlexRay

Jedna z věcí, která odlišuje FlexRay, CAN a LIN od tradičních sítí, jako je ethernet, je jeho topologie nebo rozložení sítě. FlexRay podporuje jednoduché pasivní připojení typu multi-drop, stejně jako aktivní připojení typu hvězda pro složitější sítě. V závislosti na uspořádání vozidla a úrovni využití FlexRay, výběr správné topologie pomáhá návrhářům optimalizovat náklady, výkon a spolehlivost daného návrhu. (National Instruments, 2016)

Topologie Multi-drop

FlexRay je běžně používán v jednoduché topologii sběrnic multi-drop (Obr. 26), která je vybavena jediným provozem síťového kabelu, který spojuje více ECU. Jedná se o stejnou topologii, kterou používají CAN a LIN a je známa výrobcům OEM, což je populární topologie v první generaci vozidel FlexRay. Konce sítě mají instalované zakončovací odpory, které eliminují problémy se signály. Vzhledem k tomu, že FlexRay pracuje s vysokými frekvencemi, a to až 10 Mbit/s ve srovnání s CAN 1 Mbit, navrhovatelé FlexRay dbá na správné ukončení a rozložení sítě, aby se zabránilo problémům s integritou signálu. Formát multi-drop se hodí i do svazku vozidel, které běžně sdílejí podobný typ rozvržení, což zjednodušuje instalaci a snižuje zapojení v celém vozidle. (National Instruments, 2016)



Obr. 26 – Topologie Multi-drop (převzato z National Instruments, 2016)

Topologie Star

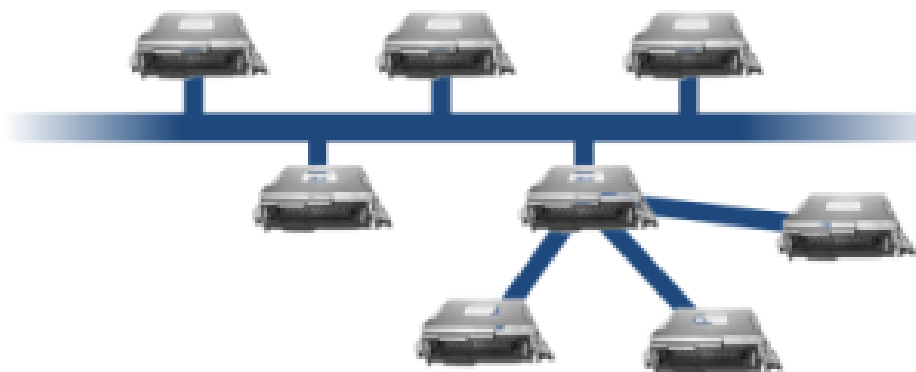
Standard FlexRay podporuje konfigurace typu hvězda (Obr. 27), které sestávají z jednotlivých propojení, které se připojují k centrálnímu aktivnímu uzlu. Tento uzel je funkčně podobný uzlu v sítích PC ethernet. Aktivní konfigurace hvězd umožňuje provozovat síť FlexRay na delších vzdálenostech nebo rozdělit síť tak, aby byla spolehlivější v případě selhání části sítě. Pokud je některá z větví hvězdy přerušena nebo zkratována, ostatní větve stále fungují. Vzhledem k tomu, že dlouhé vedení drátů vede k většímu environmentálnímu hluku, jako jsou elektromagnetické emise z velkých elektromotorů, při použití více větví se sníží množství drátu pro segment a může se zvýšit odolnost proti šumu. (National Instruments,2016)



Obr. 27 – Topologie Star (převzato z National Instruments, 2016)

Topologie Hybrid

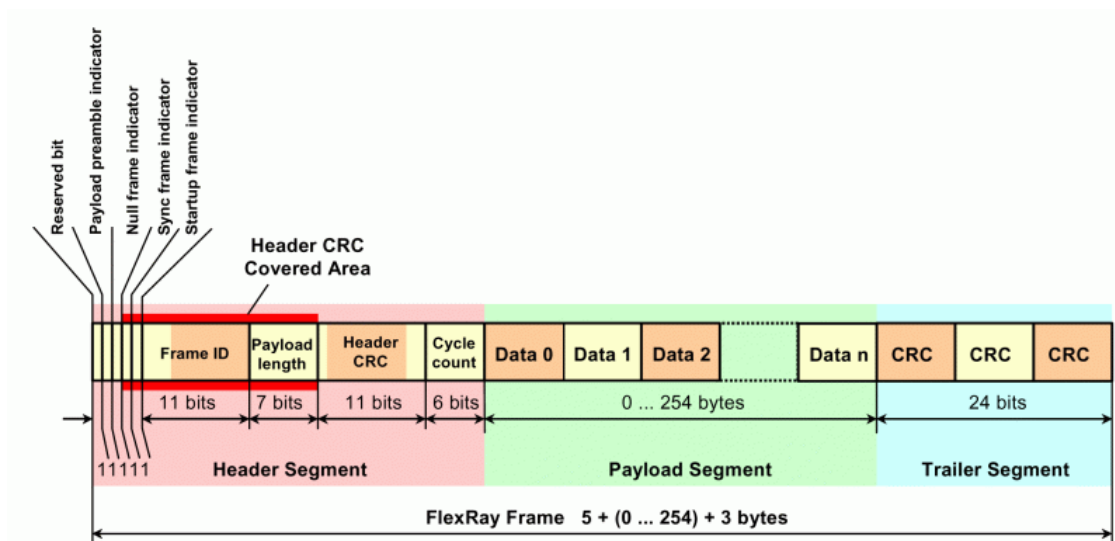
Topologie multi-drop a hvězdy lze kombinovat tak, aby vytvářely hybridní topologii (Obr. 28). Budoucí síť FlexRay budou pravděpodobně tvořeny hybridními sítěmi, které budou využívat výhody jednoduché a nákladově výhodné topologie sběrnice. (National Instruments,2016)



Obr. 28 – Topologie Hybrid (převzato z National Instruments, 2016)

Datový rámec

Datový rámec obsahuje 3 segmenty Header, Payload a Trailer (Obr. 29).



Obr. 29 – Datový rámec FlexRay protokolu (převzato z National Instruments, 2016)

Hlavička segmentu obsahuje 5 stavových bitů:

- **Rezervovaný bit** – slouží pro budoucí rozšíření protokolu.
- **Indikátor preamble datového segmentu** – pokud je nastaven na 0 potom datový segment neobsahuje *network management vector* (pro statický segment) respektive *message ID* (pro dynamický segment).
- **Indikátor nulového rámce** – pokud je nastaven na 0, datový segment neobsahuje platná data. Všechny bajty v datovém segmentu jsou nastaveny na nulu a indikátor preamble je taktéž vynulován.
- **Indikace synchronizace rámce** – slouží k synchronizaci základěn. Rámec může být poslán pouze ve statickém segmentu.
- **Indikátor startovacího rámce** – slouží k nastartování komunikace na síti.

Dále pak:

- **ID rámce (11 bitů)** – identifikace slotu, ve kterém rámec vysílá. Rozsah ID rámce je od 1 do 2047, přičemž 0 je neplatný rámec.
- **Délka datového segmentu (7 bitů)** – uvádí velikost datového rámce.
- **CRC hlavičky (11 bitů)** – Kontrolní součet slouží k případnému odhalení chyby v hlavičce rámce. Tento kontrolní součet je definován jako zbytek po dělení

vstupních dat generujícím polynomem. Mezi vstupní data, ze kterých se počítá CRC, patří těchto dvacet bitů: indikátor synchronizačního a startovacího rámce, ID rámce a délka datového segmentu. Generujícím polynomem pro CRC je číslo 0x385 a inicializační vektor výpočtu CRC je číslo 0x1A.

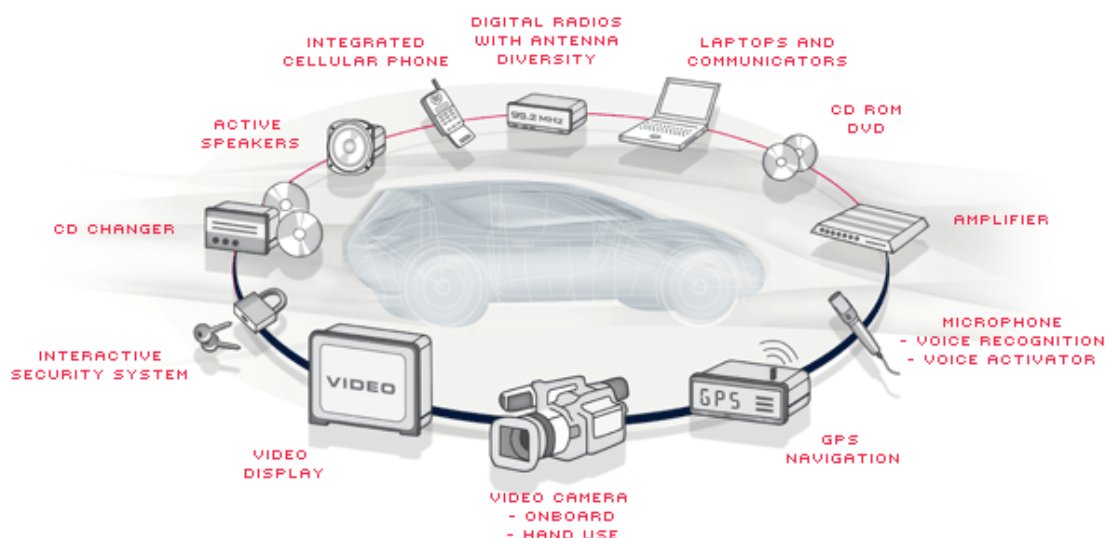
- **Číslo cyklu (6 bitů)** – identifikace cyklu, v němž rámec vysílá.

Datový segment obsahuje 0 až 254 bytů dat (0 až 127 dvou-bytových slov). Datový segment vždy obsahuje sudý počet bytů. Posledních 24 bitů rámce slouží ke kontrolnímu součtu jak hlavičky, tak i dat v datovém segmentu.

4.4 MOST

Sběrnice MOST (Media Oriented System Transport) byla vyvinuta pro multimediální přenosy v automobilu (Obr. 30). Systémy pracující s multimédií mají díky velkým objemům dat vyšší nároky na rychlost. Díky optické síti je tak možné přenášet video či audio signály, SMS nebo mohou zprostředkovat internetové připojení. Pro přenos jsou k dispozici tři standardizované přenosové rychlosti 25 Mbit/s (MOST25), 50 Mbit/s (MOST50) a 150 Mbit/s (MOST150).

Sběrnice MOST využívá k přenosu polymerní vlákno (POF), čímž snižuje předchozí rozsáhlou kabeláž pro každou službu a její řídicí signály. Může být vybudován v kruhové nebo hvězdicové topologii až s 64 stanicemi a master sdílí datovou rychlost. Z bezpečnostních důvodů se používají dvojité kroužky, které poskytují redundanci i v případě poruchy. Bezproblémový přenos dat probíhá pomocí přenosového protokolu MOST. (MOST, 2017)



Obr. 30 – Sběrnice MOST (převzato z MOST,2017)

Přenos dat pomocí vláknového optického kabelu má mnoho výhod:

- Extrémně vysoká rychlost přenosu dat
- Zabraňuje klepání a přeslech
- Přenos dat není citlivý na elektromagnetické záření
- Odolnost proti zkratu
- Bezpotenciálové připojení komponentů sběrnice
- Žádné oxidace
- Nízká hmotnost vláknového optického kabelu
- Minimální průměr kabelového svazku

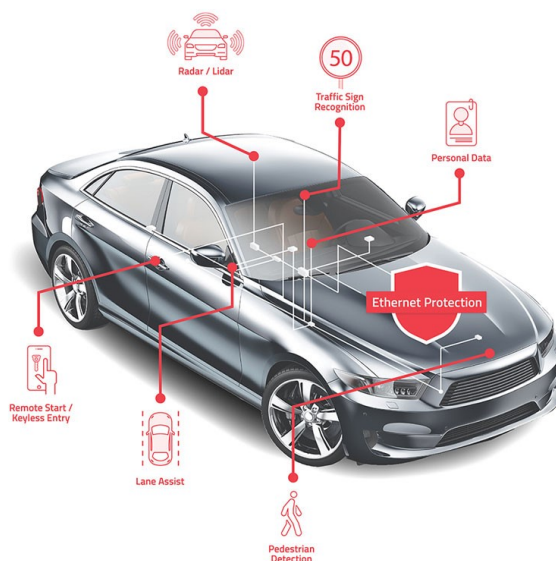
Světlo pro přenos dat v MOST má vlnovou délku 650 nm. Pro srovnání: viditelné světlo leží v rozmezí modré s 400 nm až červenou s 800 nm. V optickém kabelu s optickými vlákny může dojít k optickému oslabení světelného signálu. Útlum je závislý na:

- Vzdálenost mezi komponenty
- Poloměr ohybu při směřování (minimální poloměr ohybu 25 mm).
- Stav izolace vláknového optického kabelu (mechanické poškození, přichycení).
- Pasivní konektory (používají se, když je součást z MOSTu odstraněna, protože selhala).

4.5 Automotive Ethernet (BroadR-Reach)

Ethernet je jedním z nejběžnějších vysokorychlostních rozhraní nalezené v domácnostech a kancelářích, a jsou zde již automobily, kde se Ethernet využívá k přenosu vysokorychlostních dat. Stejně jako sběrnice CAN, je Ethernet paketovaný systém, kde jsou informace přenášeny v paktech mezi uzly v různých částech sítě (Obr. 31). Také jako CAN sběrnice, ethernet je obousměrný se snižující se rychlostí, s rostoucím počtem komunikačních uzlů. Ethernet však může přenášet data přes sběrnici 100krát rychleji než sběrnice CAN. (Sauerwald M., 2014)

Ethernet je vhodný pro komunikaci ve středním pásmu aplikací, jako jsou navigační systémy a řízení. Může být používán v podstatě stejným způsobem jako sběrnice CAN při poskytování mnohem větší šířky pásma. Ethernet by byl ideální náhradou sběrnice CAN, ale vzhledem k vyšším nákladům na Ethernet na jeden uzel, jej pravděpodobně nenahradí, ale spíše rozšíří CAN sběrnici. (Sauerwald M., 2014)



Obr. 31 – Systémy v síti Automotive Ethernet (převzato z Ixia, 2014)

Automobilový Ethernet je fyzická síť, která se používá k připojení komponentů v automobilu pomocí kabelové sítě. Je navržena tak, aby splňovala potřeby automobilového trhu, včetně splnění požadavků na elektřinu (emise a citlivost EMI / RFI), požadavky na šířku pásma, požadavky na latenci, synchronizaci a požadavky na správu sítě. Aby byly plněny požadavky pro automobilový průmysl, provádí se v rámci skupin IEEE 802.3 a 802.1 několik specifikací a revizí. (Sauerwald M., 2014)

Přestože Ethernet existoval již více než 20 let, nemohl být dříve použit v automobilech kvůli následujícím omezením:

- Nesplňoval požadavky OEM EMI/RFI pro automobilový trh. 100Mbps (a vyšší) Ethernet má příliš mnoho RF "šumu" a je také citlivý na "cizí" rušení z jiných zařízení v autě.
- Nemohl zaručit latenci mikrosekund. To bylo zapotřebí k nahrazení komunikace jakéhokoli senzoru/řízení, který potřeboval rychlou reakci.
- Neměl způsob, jak řídit přidělování šířky pásma různým proudům, takže nemohl být použit k přenosu sdílených dat z více typů zdrojů.
- Neměl možnost synchronizovat čas mezi zařízeními a současně sbírat data z více zařízení ve stejném čase.

Některé automobily dnes používají síť Ethernet pro datové aplikace jako jsou záložní kamery a zábavní systémy. Převádět video přes síť Ethernet, i když je v systému pouze jeden video kanál, který se přenáší, video musí být komprimováno u jeho zdroje a potom

dekomprimováno v cílovém místě, aby nedošlo k překročení šířky pásma sítě Ethernet. Pro aplikaci, jako je parkovací kamera to znamená, že musí existovat relativně vysoce výkonný procesor v kameře ke kompresi obrazu, aby jej bylo možno poslat do sítě Ethernet. To zase znamená, že kamera bude fyzicky větší a dražší a bude mít vyšší ztrátový výkon než řešení, které nevyžaduje mnoho zpracování obrazu. Další nevýhodou tohoto řešení je, že video komprese a dekomprese znamená zpoždění celé sítě. (Ixia, 2014)

Níže jsou uvedeny příklady technologií, které se vyvíjejí a/nebo se používají jako automobilové sítě:

- Připojené automobily s přístupem k internetu prostřednictvím mobilních nebo Wi-Fi připojení začínají být dostupné (na trhu jsou k dispozici náhradní díly). Tyto systémy umožní nejen funkce, jako jsou dopravní informace v reálném čase, komunikace a video streamování; ale také dálkovou diagnostiku a aktualizaci firmwaru, které vyžadují přístup k interním sítím a počítačům v autě. (Ixia, 2014)
- V2V (komunikace mezi vozidly) se budou používat pro vzájemnou koordinaci vozů. Tím, že zjistíte, co dělají ostatní vozidla a získáte informace o vztahu vozidel k jiným objektům, lze vypočítat bezpečné vzdálenosti a vyhnout se manévru. Národní správa bezpečnosti silničního provozu odhadla, že pomocí technologií V2V by bylo zabráněno 79 % cílových vozidel. (Ixia, 2014)
- Palubní přístroje "Augmented Reality" poskytují informace o objektech na silnici. Řidič se dívá na objekt a auto poskytne informace na čelním skle ukazujícím vzdálenost a může se přiblížit, aby viděl vzdálené objekty. A pokud existuje nebezpečí, může se zobrazit šipka ukazující, jak se vyhnout nebezpečí. Takové technologie jsou také zvažovány pro cestující. (Ixia, 2014)
- Samostatné (autonomní) vozidla budou schopny řídit cestující a dodávat jezdce bez řidiče. V Kalifornii a v Nevadě se auto-řídicí auta společnosti Google již vydaly na veřejných komunikacích a silnicích přes 300 000 mil. Pomocí kamer, radarů a laserů mohou automobily zpracovávat a analyzovat informace rychleji a spolehlivěji než lidé. Tyto automobily mohou účinněji využívat silnice "platoonováním" a velmi blízko parkovacích míst. GM, BMW a Toyota zveřejnily výsledky testování a řada expertů v oboru věří, že do roku 2020 budou prodávány automobily s vlastním pohonem a budou jezdit po veřejných komunikacích. (Ixia, 2014)

Automobilový Ethernet v roce 2015

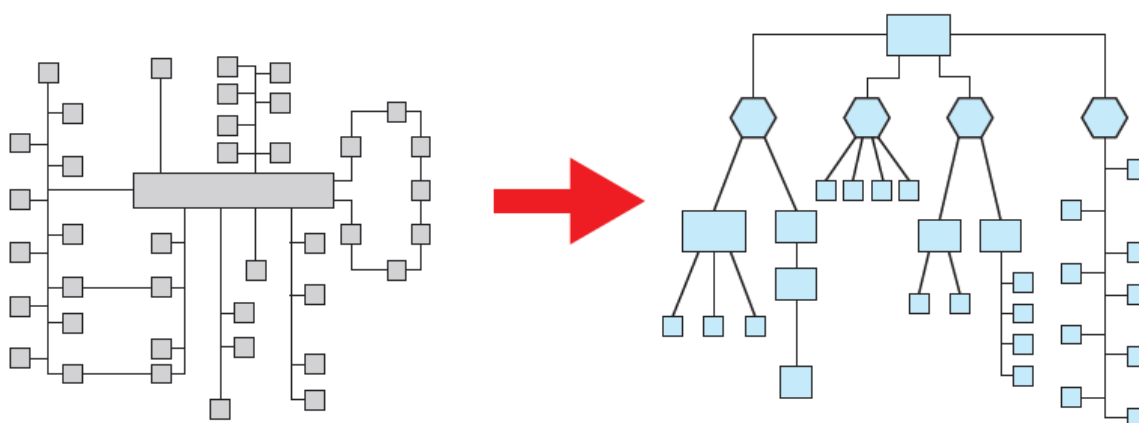
Do roku 2015 více výrobců automobilů bude používat připojení Ethernet pro kamery (asistenta řidiče) a video (infotainment). Použitou technologií je technologie BroadR-Reach společnosti Broadcom (která je nyní otevřenou normou podporovanou aliancí OPEN), která splňuje požadavky EMI pro automobilový průmysl. Přejít na Ethernet se děje rychle, protože konkurenční technologie, která podporuje požadovanou šířku pásma (sériové protokoly MOST a LVDS), jsou proprietární a drahé. V tomto modelu je Ethernet používán v propojení typu point-to-point, a ještě se nepoužívá jako sdílené médium pro různé rozhraní (takže jediný odkaz se používá pouze pro připojení k jednomu videu nebo k fotoaparátu). BMW a Hyundai už tuto technologii využívají u některých modelů, které se dnes prodávají. (Ixia, 2014)

Automobilová anatomie v roce 2020

Do roku 2020 se odhaduje, že 40 % nákladů na automobil bude v elektronice (z dnešních 32%). Nové zvýšení bezpečnosti, informačních a komunikačních funkcí a technologií.

Do roku 2020 se automobilové kabelové svazky změní z heterogenních sítí proprietárních protokolů (např. CAN a MOST) na hierarchické homogenní síť automobilového Ethernetu (viz obrázek níže). V novém modelu přepne 1GE automotive Ethernet propojí všechny domény ve vozidle (což znamená, že Ethernet bude sdíleným médiem se signály řídicími škrtící klapkou sdílející stejný kroucený pár jako požadavek na změnu rozhlasové stanice a videa pro děti v zadní sedadlo). (Ixia, 2014)

Nová anatomie (Obr. 32) nejen pomáhá snížit náklady a váhu, ale také usnadňuje spolupráci různých systémů v autě (a mimo vozidlo).



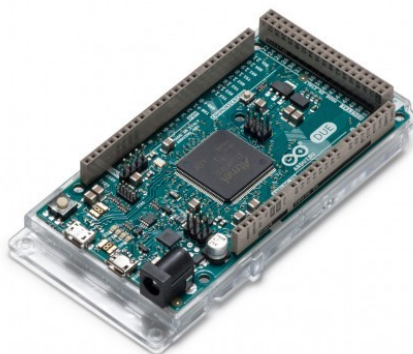
Obr. 32 – Dnešní topologie (vlevo), topologie při použití Automotive Ethernet (Ixia, 2014)

5 VÝVOJOVÉ PLATFORMY

V této části kapitoly jsou popsány varianty komerčně prodávaných vývojových platforem, které by mohly být využity pro vývoj systému pro sběr jízdních dat z automobilu, kde bylo hlavním kritériem při výběru platformy, zda mikroprocesor obsahuje CAN sběrnici.

5.1 Arduino

Vývojová platforma Arduino je v dnešní době jednou z nejrozšířenějších platforem na světě. Mezi její největší výhody patří zejména široká uživatelská základna, jednoduchost a velmi nízké pořizovací náklady. Základní moduly využívají 8bitové mikroprocesory typu ATmega328 nebo ATmega2560 s pracovním kmitočtem 16 MHz. Nejvýkonnějším modulem firmy s označením Arduino Due (Obr. 33), který je osazen 32bitovým mikroprocesorem typu ARM Cortex-M3 s pracujícím kmitočtem 84MHz. Tato deska byla zvolena z důvodu, jelikož jako jediná obsahuje vnitřní modul průmyslové sběrnice CAN.



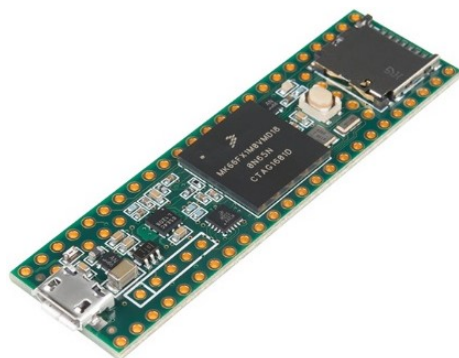
Obr. 33 – Vývojová deska Arduino Due (Arduino, 2017)

Tabulka 6 – Technické údaje Arduino Due (Arduino, 2017)

Mikrokontroler	AT91SAM3X8E
Pracovní napětí	3.3 V
Napájecí napětí	7-12 V
Napájecí napětí (limitní)	6-16 V
Digitální I/O piny	54 (12 PWM)
Analogové vstupy	12
Analogové výstupy	2 (DAC)
Výstupní proud na všech I/O	130 mA
Flash paměť	512 KB
SRAM	96 KB (dvě banky: 64KB a 32KB)
Kmitočet	84 MHz

5.2 Teensy

Teensy 3.6 (Obr. 34) je další z řady vývojových platforem založené na mikroprocesoru, obdobně jako Arduino. Avšak Teensy využívá 32bitový mikroprocesor MK66FX1M0VMD18, což je jádro typu ARM Cortex-M4F, který běží na taktu 180 MHz. Výrobce taky uvádí kompatibilitu s vývojovým prostředím Arduino IDE.



Obr. 34 – Vývojová deska Teensy 3.6 (Pjrc, 2018)

Velkou výhodou platformy je její výkon a kompaktní rozměry. Platforma obsahuje také velké množství komunikačních periférií a výstupů jako je USB, SPI, I²C, CAN Bus, Digital Audio, SD karta a Ethernet.

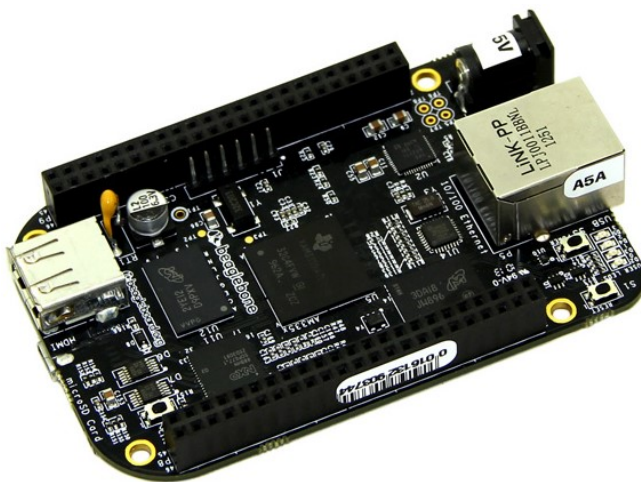
Tabulka 7 – Technické údaje Teensy 3.6 (Pjrc, 2018)

Mikrokontroler	MK66FX1M0VMD18
Pracovní napětí	3.3 V
Napájecí napětí	5 V
Digitální I/O piny	58 (22 PWM)
Analogové vstupy	25
Analogové výstupy	2 (DAC)
Výstupní proud na I/O	10 mA
Flash paměť	1024 KB
SRAM	256 KB
Kmitočet	84 MHz

5.3 Beaglebone

BeagleBone Black (Obr. 35) je malý a výkonný mikropočítač vyvíjený organizací BeagleBoard.org. Tento mikropočítač je osazen výkonným mikroprocesorem ARM Cortex A8 běžícím na frekvenci 1 GHz, 512 MB velkou DDR3 RAM pamětí a 2 GB pamětí typu Flash. Dále tento mikropočítač disponuje řadou rozhraní jako je například microHDMI pro připojení

externího monitoru, USB Host a USB Client, Ethernetovou přípojkou a dvěma 46 pinovými konektory pro připojení dalších komponentů.



Obr. 35 – Vývojová deska Beaglebone Black (BeagleBoard, 2018)

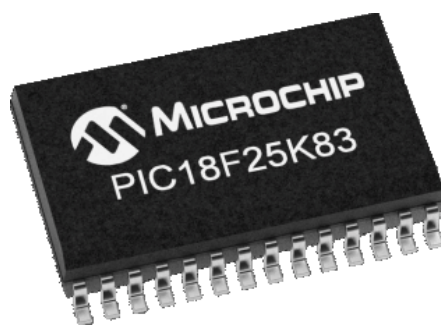
5.4 Mikroprocesory

Další možností pro vývoj řídicí jednotky pro sběr dat, je využití samostatných mikroprocesorů, vlastního návrhu a následné výroby. Avšak tato metoda vývoje vyžaduje jisté znalosti a zkušenosti. Konečná cena takovéto desky také mnohdy převyšuje vývojové platformy, které jsou na trhu. Nicméně pro vývoj subsystémových řídicích systémů jako je např. jednotka pro měření teploty, se tato možnost jeví jako nejvýhodnější, jelikož mohou hrát roli zástavbové prostory např. pro usazení řídicí jednotky do volantu.

Mikroprocesory PIC

Prvním z těchto typů mikroprocesorů je typ PIC18F25K83 (Obr. 36) od firmy Microchip. Jedná se o 8bitový mikroprocesor s pracovním taktem 16 MHz, který obsahuje veškeré základní periférie jako je GPIO, ADC, UART, SPI, I²C a také CAN. Díky své jednoduchosti a relativně nízkým nákladům se hodí právě jako řídicí MCU pro jednoduché subsystémy.

Firma ovšem také vyrábí pokročilejší a výkonnější 32bitové řídicí mikroprocesory, nicméně pro naše účely je tento plně dostačující.



Obr. 36 – Mikroprocesor PIC18F25K83 (Microchip, 2018)

Mikroprocesory STM32

Další možností je využití mikroprocesorů typu STM32 (Obr. 37) od firmy STMicroelectronics. Tyto mikroprocesory jsou založeny na jádru ARM Cortex-M, a tak jako mikroprocesory PIC obsahují všechny základní periférie. Nicméně tyto typy mikroprocesorů jsou oproti řadě PIC 32bitové a také mají větší pracovní kmitočet, který v případě typu H7 dosahuje až 400 MHz.

Vývojové desky založené na mikroprocesoru STM32 jsou velice rozšířené a považují se za nástupce vývojových desek Arduino. Nezávislí programátoři již vyvinuli kompilátory kompatibilní s vývojovým prostředím Arduino IDE pro snadnější přechod uživatelů.

Mikroprocesory STM32 jsou dlouhodobě využívány ve všech oblastech měřicí a řídicí techniky a také silně proniká do oblasti automotive díky komunikační periférie CAN Bus.

Mezi základní a nejvíce využívaných typů mikroprocesorů patří STM32F103, který pracuje na taktu 72 MHz. Dalším mnohdy využívaným typem je STM32F407, který běží na taktu 168 MHz.



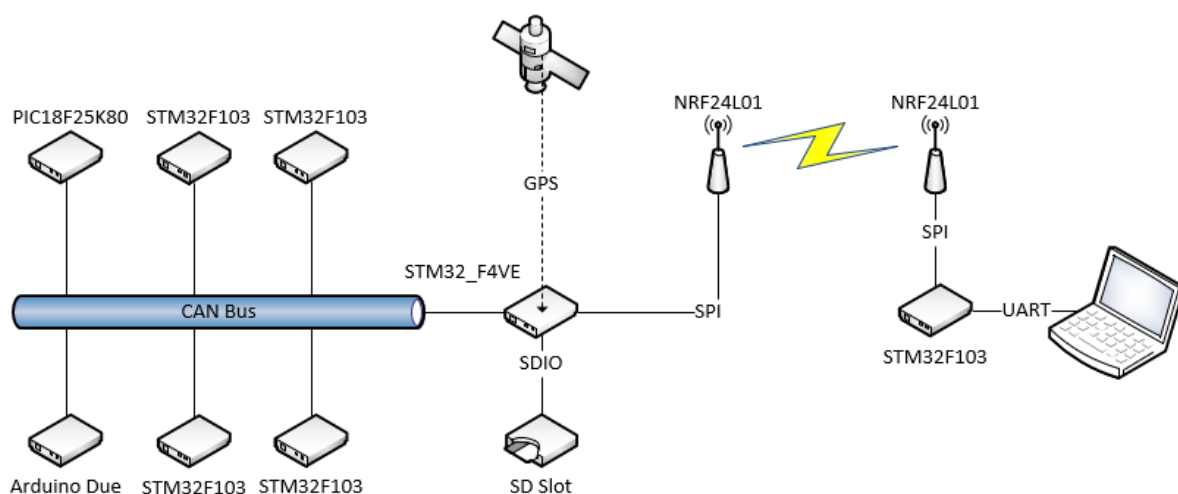
Obr. 37 – Mikroprocesor STM32 (STMicroelectronics, 2018)

6 NÁVRH A REALIZACE DISTRIBUOVANÉHO SYSTÉMU

Tato část se zabývá výběrem snímačů a jejich rozsahů, uložení řídicích jednotek a schématickým znázorněním komunikace s pomocí CAN Bus sběrnice (Obr. 38).

Jako hlavní jednotka pro zpracování dat bude využita vývojová deska STM32_F4VE, ve které je zasazen modul NRF24L01 pro přenos dat bezdrátovou komunikací, deska napojená na sběrnici CAN Bus je také vybavena SD slotem, pro průběžné ukládání dat na SD kartu. Deska by také měla průběžně sbírat data z GPS modulu z důvodu menšího zatížení sběrnice CAN Bus

Jako další jednotka v distribuované síti je využita vývojová deska STM32F103, která bude sbírat data jednotlivých snímačů a odesílat je po sběrnici CAN Bus do hlavní centrální jednotky. Komunikační rychlost sběrnice CAN je nastavena na **500 kb/s** z důvodu kompatibility s řídicí jednotkou motoru, která má tuto rychlost pevně stanovenou.



Obr. 38 – Návrh koncepčního propojení jednotek po sběrnici CAN Bus

Pro ukázkou univerzálnosti distribuovaného systému je také využita vývojová deska Arduino Due a deska vlastního návrhu s osazeným čipem PIC18F25K80, kde tyto desky budou odesílat jednoduchá data např. hodnoty potenciometrů, či hodnoty teplot.

6.1 Volba snímačů

Při výběru správných snímačů je důležité si předem určit, jaký druh fyzikální veličiny chci měřit a jakým typem snímače je možno takovou veličinu měřit. Dále je potřeba si stanovit jisté parametry samotného snímače, jedná se například o napájecí napětí, typ výstupního signálu, velikost a také cena.

Snímače teploty

Pro měření teplot, ať už se jedná o měření teploty chladicího okruhu, olejového okruhu, jsem zvolil díky jeho ceně a malým rozměrům NTC snímač (Obr. 39) Prosport – Evo s americkým závitem G 1/8“.

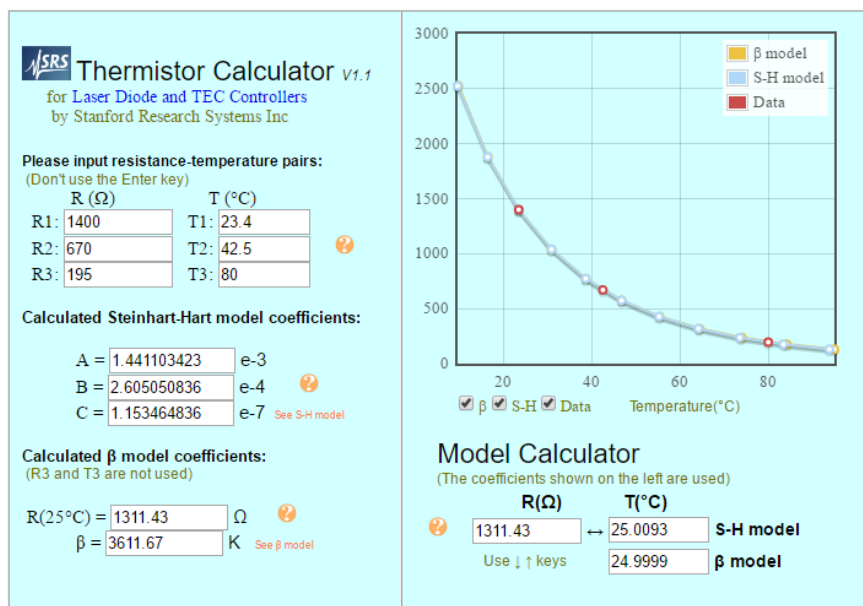


Obr. 39 – NTC snímač teploty (ESCAPE6, 2018)

Ke snímači nebylo možné dohledat technické údaje, tudíž bylo potřeba provést měření a zjistit si danou charakteristiku snímače. Jelikož víme, že se jedná o snímač typu NTC termistor, lze předpokládat tvar výsledné charakteristiky a jaký správný postup měření zvolit.

Měření proběhlo tak, že byla změřena hodnota odporu a teplota snímače při pokojové teplotě pomocí multimetru a kalibrovaného teploměru. Poté byl snímač spolu s teploměrem ponořen do vody, která byla následně zahřívána, kde byly pro příslušné hodnoty teploty zapsány hodnoty odporu snímače.

Pro vykreslení statické charakteristiky snímače byl využit kalkulátor dostupný na internetových stránkách www.thinksrs.com (Obr. 40), kde bylo potřeba vyplnit hodnoty odporu pro dané teploty a kalkulátor spočítal koeficienty snímače pro Steinhart-Hart model a také koeficient β .



Obr. 40 – Statická charakteristika snímače teploty

Pro bezkontaktní měření teplot jsem zvolil snímač MLX90614 (Obr. 41) s bezkontaktním měření teploty pomocí infračerveného záření. Tento snímač od firmy Melexis obsahuje dva teplotní snímače. První je IR teploměr pro měření teploty objektu a druhý, který měří teplotu okolí. Snímač využívá I²C komunikace pro výměnu dat a umožňuje sériové zapojení až 100 modulů na jedné sběrnici.



Obr. 41 – IR teploměr MLX90614 (Arduino-shop.cz, 2018)

Tabulka 8 - Technické údaje MLX90614 (Arduino-shop.cz, 2018)

Napájecí napětí	5 V
Teplotní rozsah IR teploměru	-70°C – 380 °C
Teplotní rozsah měření teploty okolí	-40°C – 125 °C
Komunikace	I ² C (SMBus)
Přesnost obou snímačů	±0,5 °C
Rozlišení	0,02 °C

Výrobce dodává několik typů tohoto snímače, které liší svými vlastnostmi, jako je například napájecí napětí, úhel měření IR teploměrem, pouzdro s optickou čočkou apod.

Snímače tlaku

Pro měření tlaků např. oleje, chladicí kapaliny, palivového okruhu, brzdové kapaliny, řadícího mechanismu jsem zvolil klasické membránové snímače s výstupním analogovým signálem a závitem G 1/4“, kde výrobce uvádí lineární statickou charakteristiku. Je možné objednat snímače s různými rozsahy měřících tlaků.



Obr. 42 – Snímač tlaku kapalin (Automatizace.kvalitne.cz, 2018)

Tabulka 9 – Technické údaje snímače tlaku (Automatizace.kvalitne.cz, 2018)

Napájecí napětí	5 V
Rozsah	0 – 1 MPa, 0 – 10 MPa
Výstupní napětí	0,5 – 4,5 V
Proud	10 mA
Pracovní teplota	-20 – 105 °C
Přesnost	±1,5% FSO(Full Scale Output)
Reakční doba	2 ms
Odolnost	IP65

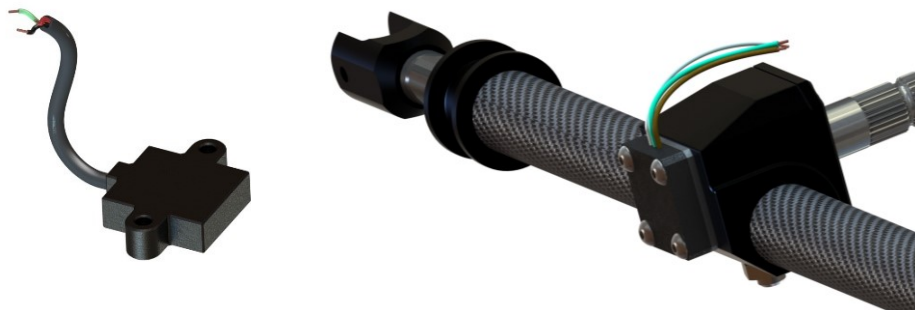
Snímače vzdálenosti

Pro měření vzdálenosti se v oblasti motorsportu a soutěže Formula Student využívají lineární potenciometry s odporem 10 kOhm, tudíž lze pro model využít v podstatě jakýkoliv typ potenciometru s odpovídající hodnotou odporu a napájecím napětím. Pro tento modelový případ jsem zvolil klasický potenciometr s hodnotou odporu 10 kOhm.

Snímače úhlu natočení

U snímačů úhlu natočení to platí obdobně jako u snímačů vzdálenosti. Nejvíce se však využívají snímače magnetického pole (Hallowy sondy) a rotační potenciometry. Pro tento případ bude také využit potenciometr s odpovídající hodnotou odporu 10 kOhm.

Na Obr. 43 je ukázka takového snímače úhlu natočení volantu, který je uložen v převodovém ústrojí na konci tyče řízení.



*Obr. 43 – Snímač úhlu natočení (vlevo) a jeho uložení v převodovém ústrojí tyče řízení (vpravo)
(Formula Seven, 2018)*

Snímače rychlosti

Pro měření rychlosti, se nejvíce využívají snímače využívající Hallova efektu. V tomto případě byl využit indukční snímač (Obr. 44) pro snímání jednotlivých pulzů z ozubeného kola v uložení náboje každého kola. Tímto způsobem je možné měřit rychlosti každého kola.



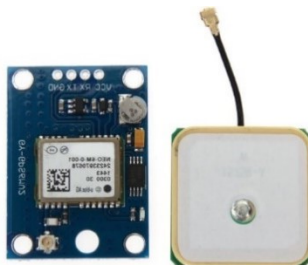
Obr. 44 – Indukční snímač pro měření rychlosti (TME, 2018)

Tabulka 10 – Technické údaje indukčního snímače (TME, 2018)

Napájecí napětí	10 – 30 V
Proud	100 mA
Typ	NPN
Max. kmitočet	1,5 kHz
Dosah	2 mm
Pouzdro	M12
Odolnost	IP67
Pracovní teplota	-25 – 70 °C
Přesnost	±1,5% FSO(Full Scale Output)

GPS

Pro měření pozice monopostu je využit GPS modul Neo-6M (Obr. 45) od firmy U-Blox. Modul je možno plně konfigurovat pomocí volně stahovatelného softwaru U-Center, kde pro komunikaci s modulem může být využita sériová linka UART nebo USB port.



Obr. 45 – GPS modul Neo-6M (Arduino-shop.cz, 2018)

Tabulka 11 – Technické údaje GPS modulu Neo-6M (Arduino-shop.cz, 2018)

Napájecí napětí	2,7 - 5 V
Proud	35 mA
Max. frekvence měření	10 Hz
Přesnost pozice	2 m
Pracovní teplota	-40 – 80°C
Komunikace	USB, UART
Komunikační protokol	NMEA/UBX

Snímač zrychlení a náklonu

Pro měření zrychlení a náklonu byl zvolen modul osazený MEMS čipem MPU-6050 (Obr. 46), který obsahuje 3osý akcelerometr a také 3osý gyroskop. Dále obsahuje DMP (Digital Motion Processor), který v reálném čase přepočítává naměřené hodnoty akcelerometru a gyroskopu na jednotlivé složky rotačního pohybu v ose X, Y a Z. Komunikace probíhá po rozhraní I²C.



Obr. 46 – Modul akcelerometru a gyroskopu s MEMS čipem MPU-6050 (Arduino-shop.cz, 2018)

Tabulka 12 – Technické údaje MPU-6050 (Arduino-shop.cz, 2018)

Napájecí napětí	3 – 5 V
Proud	10 mA
Počet bitů ADC	16
Rozsah akcelerometru	$\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g
Rozsah gyroskopu	+ 250 500 1000 2000 °/s
Komunikace	I ² C
Kalibrační doba po startu	20 s

Modul pro bezdrátovou komunikaci

Pro umožnění bezdrátové komunikace je využit modul (Obr. 47) osazený čipem nRF24L01 od firmy Nordic Semiconductor. Modul pracuje v celosvětově uznávaném pásmu ISM, ve kterém dokáže přenášet informace až na 126 různých RF (radiofrekvenčních) kanálech. Podporována je také funkce modulace pomocí GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) neboli Gaussova modulace frekvenčního klíčování. Přenos dat může být uskutečněn při rychlostech 250 kbps, 1 Mbps a 2 Mbps. Úroveň vysílaného signálu je měnitelná po kroku 6 dBm od -18 dBm do 0 dBm. Odběr při úrovni nejsilnějšího vysílání (0 dBm) je 11,3 mA. V přijímači jsou zabudovány kanálové filtry a rychlé AGC (Automatic Gain Control) pro zlepšení dynamického rozsahu. Odběr přijímače při rychlosti přenosu 2 Mbps je 13,5 mA.

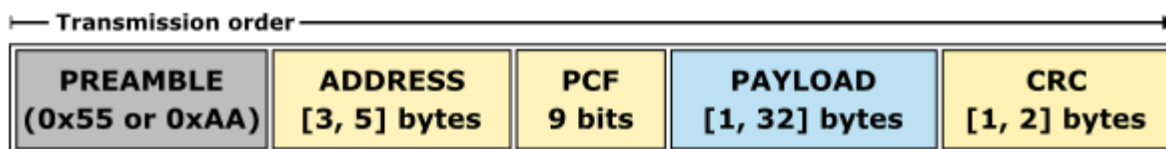
Tento modul je mezi uživateli velmi rozšířený díky možnosti konfigurace, velmi nízkým nákladům a velkému dosahu (více než 1 km). Díky tomu je na internetu dostupná velká spousta knihoven pro ovládání a správnou konfiguraci.



Obr. 47 – Modul nRF24L01+PA+LNA pro bezdrátovou komunikaci (Arduino-shop.cz, 2018)

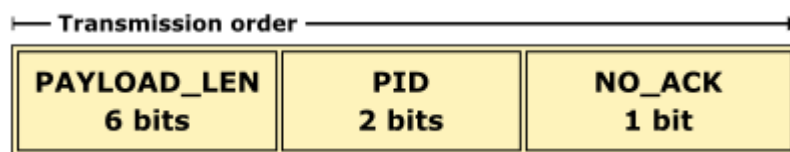
Pomocí funkce Enhanced ShockBurst je obstaráváno automatické sestavení paketů, automatická správa přenosu paketů, možnost volby proměnné délky posílané zprávy v rozsahu 1-32 bytů a komunikace s dalšími 6 moduly v síti typu hvězdy. Správa napájení obsahuje zabudovaný napěťový regulátor a umožňuje rozsah napájecího napětí v rozmezí 1,9 až 3,6 V. Z klidových režimů se lze do režimů aktivních přepnout za dobu 130 μs. Komunikace je zajištěna pomocí 4 kontaktů rozhraní SPI s maximální rychlostí 10 Mbps. (Ptáček, 2015)

Formát paketu sestaveného pomocí Enhanced Shockburst je složen z bytu synchronizační hlavičky, 3 až 5 bytové adresy, obsahu poslané zprávy a kontrolního součtu. Tato funkce dále nabízí možnost dynamické délky zprávy, automatické indexace paketu, automatického potvrzování a požadavek o nevysílání potvrzovacího paketu. Formát je vyobrazen na Obr. 48. (Ptáček, 2015)



Obr. 48 – Struktura datového paketu protokolu Enhanced Shockburst (převzato z DevZone, 2015)

- **PREAMBLE** (synchronizační hlavička) – Hlavička je tvořena posloupností 8 bitů určených k synchronizaci demodulátoru přijímače. Začíná-li adresa prvním bitem o hodnotě log. 1, je hlavička sestavena jako 10101010 a je-li první bit adresy 0, je sestavena opačně (01010101). Tím je zajištěn dostatek přechodů, aby přijímač stihl zareagovat na příchozí data. (Ptáček, 2015)
- **ADDRES** (adresa) – Položka adresy představuje 3 až 5 bytů adresy vysílače. Adresa je tak přijata jen přijímačem, u nějž je nastavena v některém z jeho přijímacích kanálů. Zároveň také zabráňuje přeslechům mezi dalšími moduly. V adrese musí být obsažena více než jedna změna bitu, aby nebyla detekována při šumu a nedošlo tak k falešné detekci. Zakázaný formát je například 0000FFFFFF. Dalším případem chybného zápisu adresy je opakované přepínání nul a jedniček, jenž může být detekováno jako pokračování synchronizační hlavičky (0101010101). (Ptáček, 2015)
- **PCF** (informace o paketu) – Informace o paketu jsou rozšířením pro funkci Enhanced Shockburst a jsou složeny z 9 bitů, které lze rozdělit do tří částí. Jako první je posláno 6 bitů určující délku, které jsou posílány jen, je-li požadována proměnná délka zprávy (DPL). V další části je posílána informace o identitě paketu. Podle dvoubitové informace je přijímač schopen určit, zda je přijatý paket nový nebo znovu poslaný. Jako poslední je předávána bitová informace o tom, zda má být po přijetí paketu odeslán potvrzovací signál. (Ptáček, 2015)



Obr. 49 – Struktura PCF pole datového paketu (převzato z DevZone, 2015)

- **PAYLOAD** (zpráva) – V jedné zprávě může být jinému modulu posláno až 32 bytů informací. Funkce Enhanced Shockburst poskytuje dva druhy délek zprávy, a to délku statickou nebo dynamickou. Standardně je nastavena pevná délka zprávy. (Ptáček, 2015)
- **CRC** (kontrolní součet) – Představuje povinnou chybovou detekci vypočítanou z adresy, informace o paketu a zprávy pomocí polynomu. Při selhání CRC není přijat žádný paket. (Ptáček, 2015)

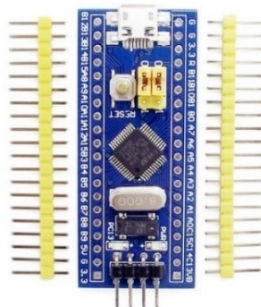
6.2 Volba vývojové platformy

Při výběru vývojové platformy jsou rozhodující parametry jako jsou cena, dostupnost, výpočetní výkon, periférie, a především uživatelská podpora, která podstatně urychluje vývoj. Z tohoto důvodu jsem zvolil jako hlavní vývojovou platformu moduly s osazenými čipy typu STM32, které mají velmi nízké pořizovací náklady, velký výpočetní výkon a velmi rozšířenou uživatelskou i technickou podporu.

V komunikační síti CAN Bus bude také použita jedna vývojová deska Arduino Due, která je popsána v předchozí kapitole a jedna deska vlastního návrhu osazena mikroprocesorem řady PIC18F25K80.

STM32F103C8T6

Jedná se o masově distribuovanou vývojovou desku s označením Blue Pill (Obr. 50) osazenou 32bitovým mikroprocesorem STM32F103C8T6, která pracuje na taktu 72 MHz, velikost Flash paměti je 128 KB a velikost SRAM 20KB. Deska je osazena nejnutnějšími hardwarovými komponenty pro funkci mikroprocesoru. Hlavní záměr produkce je poskytnutí výkonnější náhrady 8bitových vývojových desek výrobce Arduino.

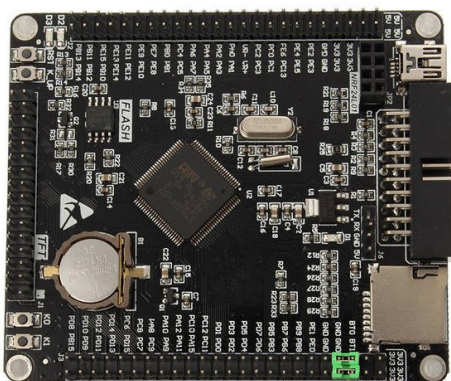


Obr. 50 – Vývojová deska Blue Pill (Arduino-shop.cz, 2018)

Mikroprocesor disponuje dvěma 12bitovými AD převodníky, interní 8 MHz a 04 kHz oscilátory, externí 8 MHz a 32,768 kHz oscilátory, podporu DMA pro přímý přístup do paměti, 16 externích interruptů, 7 druhů časovačů, 2 linky pro I²C komunikaci (SMBus/PMBus), 3 linky USART (ISO 7816, LIN, IrDA), 2 linky SPI, linku CAN (2.0 B) a podporu USB portu. Programování a debugování desky je prováděno pomocí SWD portu.

STM32F407VET6

Pro náročnější úlohy byla zvolena vývojová deska s označením STM32_F4VE (Obr. 51) s osazeným 32bitovým mikroprocesorem řady STM32F407VET6 běžícím na taktu 168 MHz, 512 KB Flash paměti a 192 KB SRAM. Deska je také již osazena slotem pro SD kartu a také patičí pro komunikační modul NRF24L01, který je využit pro bezdrátový přenos dat mezi řídicí jednotkou a PC pro zobrazení dat. Dále je osazena externí W25Q16 Flash paměť a slotem pro baterii.



Obr. 51 – Vývojová deska STM32_F4VE (STM32duino, 2018)

Další technické údaje vývojové desky:

- Externí 8MHz oscilátor
- Externí 32.768KHz RTC oscilátor

- 3x SPI, 3x USART, 2x UART, 2x I2S, 3x PC, 1x USB, 1x 10/100 Ethernet MAC, 1x FSMC, 1x SDIO, 2x CAN, 3x ADC (12bit / 16 kanálů), 2x DAC (12bit)
- 12x časovač, 2x pokročilý časovač
- 3,3 V regulátor napětí, max proud 800 mA
- Micro USB
- Patice pro NRF24L01 vysílač

6.3 Vývoj firmware

Jako vývojové prostředí pro konfiguraci jednotlivých mikroprocesorů je využit software STM32CubeMX od firmy STMicroelectronics. Využití tohoto vývojového prostředí přináší hned několik výhod:

- Vývojové prostředí od samotného výrobce mikroprocesorů STM32
- Jednoduché a přehledné prostředí
- Snadná konfigurace jednotlivých pinů a periférií
- Konfigurace jednotlivých sběrnic a zdrojů času
- Generování základního konfiguračního kódu do zvoleného prostředí

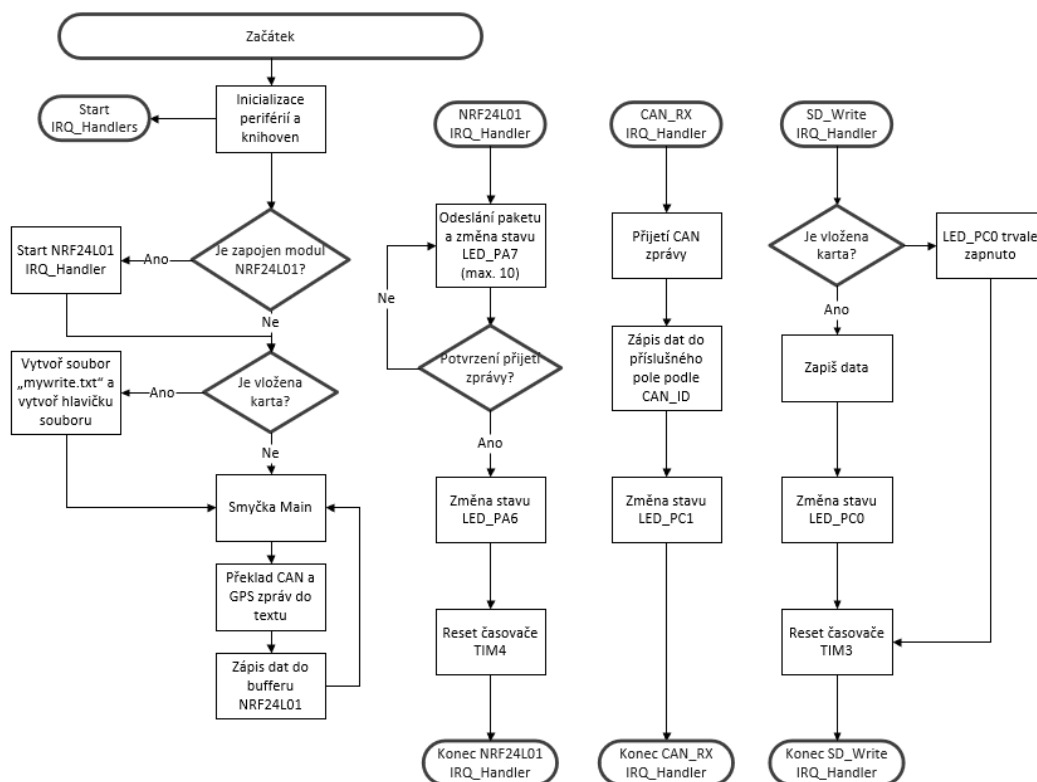
Jako vývojové prostředí pro psaní samotného kódu je využit software TrueSTUDIO v9.0.0 od společnosti Atollic. Tento software je založen na vývojovém prostředí Eclipse, a jeho největší výhoda spočívá v kompatibilitě s vývojovým prostředím STM32CubeMX, jelikož od konce roku 2017 byla společnost Atollic odkoupena společností STMicroelectronics. Oba tyto softwary jsou ke stažení v plné verzi zcela zdarma.



Obr. 52 – Logo STM32CubeMX a TrueSTUDIO (STMicroelectronics, 2018)

STM32F407VET6

Na Obr. 53 je vyobrazen vývojový diagram hlavní logovací jednotky STM32_F4VE, kde je po připojení napájení provedena inicializace jednotlivých periférií a knihoven pro řízení jednotlivých modulů a použitých periférií.



Obr. 53 – Vývojový diagram hlavní logovací jednotky STM32_F4VE

Po úspěšné inicializaci proběhne spuštění veškerých nastavených časovačů a jednotlivých zdrojů přerušení. Kód obsahuje čtyři hlavní zdroje přerušení s přednastavenou prioritou, aby nedocházelo ke vzájemnému přerušování. S menší hodnotou priority přerušení roste přednost procesu pro přidělení výpočetního výkonu.

Tabulka 13 - Zdroje přerušení a nastavení priorit

Zdroj přerušení	Priorita
CAN_RX IRQ_Handler	0
SD_Write IRQ_Handler	0
NRF24L01 IRQ_Handler	1

V tabulce 13. je možné si všimnout, že nastavené priority pro čtení dat ze sběrnice CAN Bus a pro zápis dat na SD kartu jsou stejné, nicméně je možné toto nastavení ponechat, jelikož pro zápis dat na SD kartu je využit řadič DMA (Direct Memory Access), který umožňuje přímý

přenos dat mezi periférií a vnitřní pamětí. Řadič DMA se obecně využívá pro přenos dat většího objemu například řadič pevných disků, grafických karet, síťových karet a podobně. Největší výhoda řadiče DMA spočívá v jeho samostatné činnosti, díky čemuž minimálně zpomaluje výkon procesoru, který mezi tím může vykonávat jinou činnost.

Samotná funkce pro zápis na SD kartu je volaná periodicky pomocí nastaveného přerušení časovače TIM3, který provádí zápis každých 100 ms.

Rutina přerušení od sběrnice CAN Bus je volaná pokaždé, když je periférií úspěšně přijatá jakákoliv zpráva v této sběrnici. Rutina zpracovává přijatá data, které dále ukládá do jednotlivých polí podle identifikátoru přijaté zprávy. Po každém úspěšném zápisu je pak provedena změna stavu signalizační LED diody na portu PC1.

Jako poslední přerušovací rutina je **NRF24L01_IRQ_Handler**, která je periodicky volána přerušením od časovače TIM4, která má za úkol průběžně posílat pakety se zpracovanými daty do PC. Perioda této rutiny je 100 ms, během této rutiny je nejdříve odeslán paket s daty s následným čekáním na přijetí potvrzovacího paketu ze strany přijímače. Pokud není potvrzovací paket přijat do určité doby, proběhne opětovné odeslání datového paketu. Tato sekvence opětovného pokusu je provedena maximálně 10krát, poté proběhne ukončení přerušovací rutiny. Při úspěšném odeslání paketu je provedena změna stavu LED diody na portu PA6 a při přijmutí potvrzovacího paketu je pak provedena změna LED diody na portu PA7 a následuje reset časovače TIM4. Datový paket přenosu bezdrátového modulu je popsán v tabulce 14. a 15., kde MSB (Most Significant Bit) značí nejvíce významový bit a Data značí název datové proměnné.

Tabulka 14 – Struktura datového odesílaného paketu module nRF24L01

MSB	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Data	ADC_1	ADC_2	Duty_cycle	Increment	PB_12	PB_14

- **ADC** – Analogová hodnota potenciometru. Skládá se ze dvou 8bitových proměnných ADC_1 a ADC_2, kde ADC_1 nese nejvyšší významový bit.
- **Duty_cycle** – Hodnota střidy PWM signálu pro výstupní LED diodu.
- **Increment** – Vnitřní proměnná, která se s každým cyklem inkrementuje o hodnotu 1.
- **PB_12** – Digitální vstup na portu B12.
- **PB_14** – Digitální vstup na portu B14.

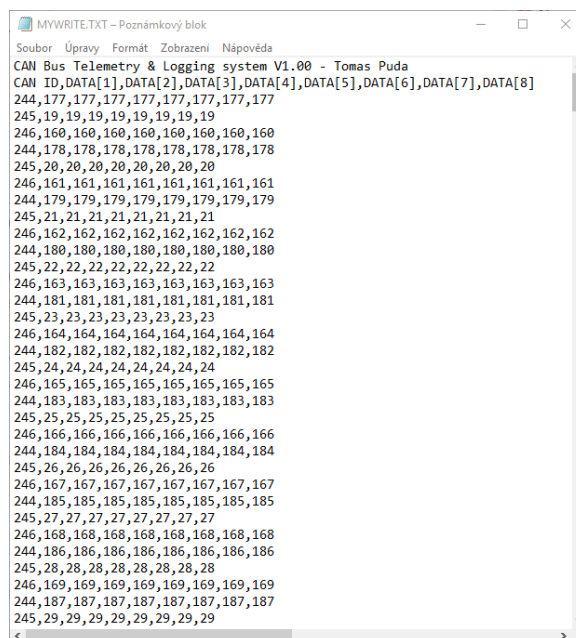
Tabulka 15 – Struktura datového odesílaného paketu module nRF24L01

MSB	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
Data	X_axis_1	X_axis_2	Y_axis_1	Y_axis_2	Joy_Btn	Light_1	Light_2

- **X_axis** – Analogová hodnota joysticku v ose x. Hodnota je složena ze dvou 8bitových proměnných X_axis_1 a X_axis_2, kde X_axis_1 nese nejvyšší významový bit.
- **Y_axis** – Analogová hodnota joysticku v ose y. Hodnota je složena ze dvou 8bitových proměnných Y_axis_1 a Y_axis_2, kde Y_axis_1 nese nejvyšší významový bit.
- **Joy_Btn** – Digitální vstup tlačítka umístěném v joysticku.
- **Light** – Analogová hodnota snímače osvětlení.

Hlavní funkce **Main** má pak za úkol obsluhu dat pro správný zápis na SD kartu a zápis dat do bufferu pro odeslání paketu po bezdrátové síti.

Aby bylo možné zpracovat velké množství dat z hlavní jednotky uložené na SD kartu, bylo potřeba provést převod dat v hlavní funkci Main do správného formátu (Obr. 54).



Obr. 54 – Zobrazení uložených dat na SD kartě

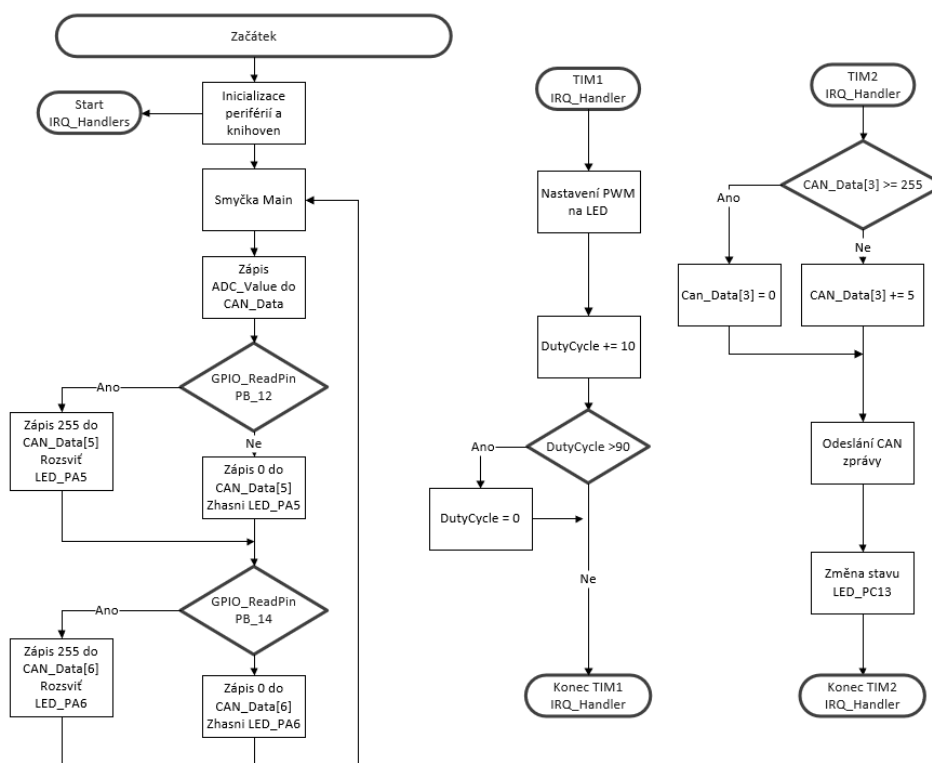
Při inicializaci je vytvořen soubor s názvem „mywrite.txt“, do kterého se poté запиše hlavička souboru, která obsahuje název firmwaru. Na dalším řádku jsou poté vypsány hlavičkové názvy jednotlivých sloupců. Data jsou poté zapisovány s oddělovacím znakem

čárky, pro snadnější třídění a manipulaci. První číslo v souboru pak představuje identifikátor zprávy z CAN sběrnice následující jednotlivými dat od 1 až po 8.

STM32F103C8T6

Pro řídicí desku s mikročipem STM32F103C8T6 byl vytvořen program (Obr. 55), který zajišťuje odesílání CAN zprávy s periodickým odesláním 100 ms, jejíž obsah je v Tabulka 16.

Po zapnutí napájení desky je spuštěna inicializace všech nastavení periférií a zároveň dochází ke spuštění časovačů TIM1 a TIM2. Po úspěšné inicializaci program přejde do hlavní smyčky **Main**. V této smyčce je cyklicky prováděn zápis z hodnoty ADC_Value do datového paketu CAN_Data. Jelikož je rozlišení AD převodníku 12bitů a chceme využívat celý rozsah, tak je třeba, z důvodu omezení datového typu CAN zprávy, provést rozdělení na dvě 8bitové proměnné, v tomto případě do proměnných ADC_1 a ADC_2, kde ADC_1 nese nejvyšší významový bit. Pro převod AD převodníku a zápis do proměnné ADC_Value je využíván DMA kanál, který umožňuje vysoké vzorkování bez přílišného zatěžování mikroprocesoru.



Obr. 55 – Vývojový diagram řídicí jednotky STM32F103C8T6

Následuje čtení vstupů na digitálních vstupech PB_12 a PB_14, kde je při aktivních vstupech zapsána do CAN zprávy hodnota 255, a pro kontrolu je také zapnuta signalizační dioda na výstupech PA_5 a PA_6.

Tabulka 16 – Datový paket CAN zprávy STM32F103C8T6

CAN ID	Data [0]	Data [1]	Data [2]	Data [3]	Data [4]	Data [5]	Data [6]	Data [7]
0x330	ADC_1	ADC_2	Duty_cycle	Increment	X	PB_12	PB_14	X

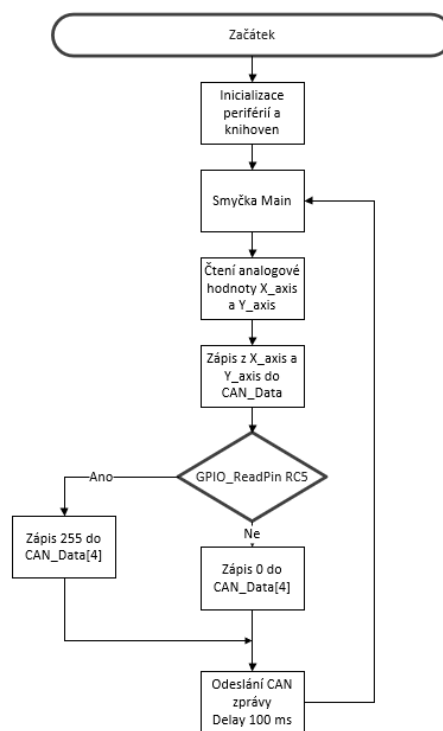
V programu také souběžně běží dva časovače, které podle předem stanovené periody vyvolají v procesu přerušení pro vykonání příslušné rutiny. Časovač **TIM1** s nastavenou periodou 1 s má za úkol řízení výstupního PWM signálu pro signalizační LED diodu. V cyklu je periodicky inkrementována hodnota střídý **Duty_cycle** o 10 %, kde po překročení hodnoty střídý 90 % dojde k vynulování, cyklus také periodicky zapisuje hodnotu střídý do datového paketu CAN zprávy.

Časovač **TIM2**, který má přednastavenou periodu 100 ms, má za úkol v každém cyklu inkrementovat vnitřní proměnnou **Increment** o hodnotu +5, kde při překročení hodnoty 250 dojde k vynulování proměnné. Cyklus poté zapisuje hodnotu proměnné Increment do datového paketu CAN zprávy a následně celý paket odešle s nastaveným identifikátorem hexadecimální hodnoty 0x330. Po úspěšném odeslání CAN zprávy je provedena změna stavu signalizační diody na výstupu PC_13.

PIC18F25K80

Řídicí deska osazená mikročipem PIC18F25K80 má za úkol periodicky zpracovávat data analogového joysticku. Zpracovávány jsou dva analogové signály pro osu x a pro osu y. Joystick má také jeden digitální výstup z tlačítka.

Po přivedení napájení je provedena inicializace periférií a následuje hlavní smyčka **Main**. Ta nejdříve načte hodnoty analogových vstupů do proměnných **X_axis** a **Y_axis**. Poté následuje zápis hodnot do datového paketu CAN zprávy. Jelikož má mikročip 10bitový AD převodník, je třeba opět v obou případech provést rozdělení na dvě 8bitové proměnné bitovým posuvem.



Obr. 56 – Vývojový diagram řídicí jednotky
PIC18F25K80

Poté proběhne kontrola vstupní hodnoty na digitálním vstupu napojeném na tlačítku joysticku. Pokud je na vstupu logická 1, je do proměnné **Joy_Btn** zapsána hodnota 255, pokud je na vstupu logická 0, je do proměnné zapsána hodnota 0. Poté proběhne odeslání datového paketu CAN zprávy a je volána čekací funkce, která zastaví hlavní smyčku na dobu 100 ms. V tabulce 17 je možné vidět celý datový paket CAN zprávy s identifikátorem 0x331.

Tabulka 17 – Datový paket CAN zprávy PIC18F25K80

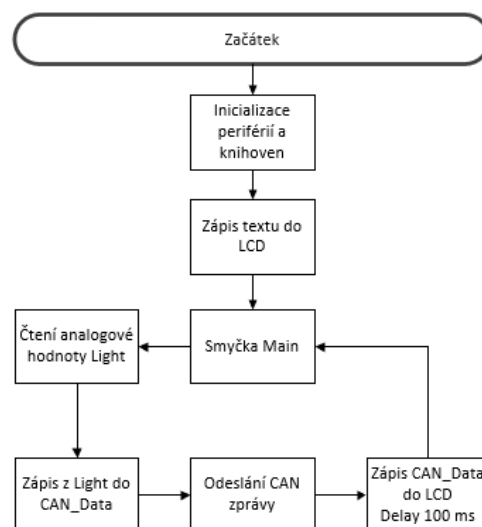
CAN ID	Data [0]	Data [1]	Data [2]	Data [3]	Data [4]	Data [5]	Data [6]	Data [7]
0x331	X_axis_1	X_axis_2	Y_axis_1	Y_axis_2	Joy_Btn	X	X	X

Arduino Due

Řídící jednotka založená na platformě Arduino Due v distribuovaném systému slouží pro zpracování analogového signálu na výstupu snímače intenzity osvětlení (fotorezistor) a zobrazování na LCD displeji.

Na začátku programu (Obr. 57) proběhne inicializace periférií a vypsání inicializačního textu s názvem úlohy „Diplomova práce“ a autorem „Tomas Puda“ na LCD displej, který má 2 řádky s maximálním počtem 16 znaků na řádek. Následuje hlavní smyčka **Main**, která nejdříve načte hodnotu na analogovém vstupu a zapíše do hodnoty **Light**, tu je potřeba opět rozdělit na dvě proměnné pomocí bitového posuvu a následně zapsat do datového paketu CAN zprávy. Následně je celý paket odeslán s identifikátorem 0x332. Celý paket je pak zobrazen na LCD

displeji. Hodnoty datového paketu jsou vypsány v tabulce 18.



Obr. 57 – Vývojový diagram řídicí jednotky Arduino Due

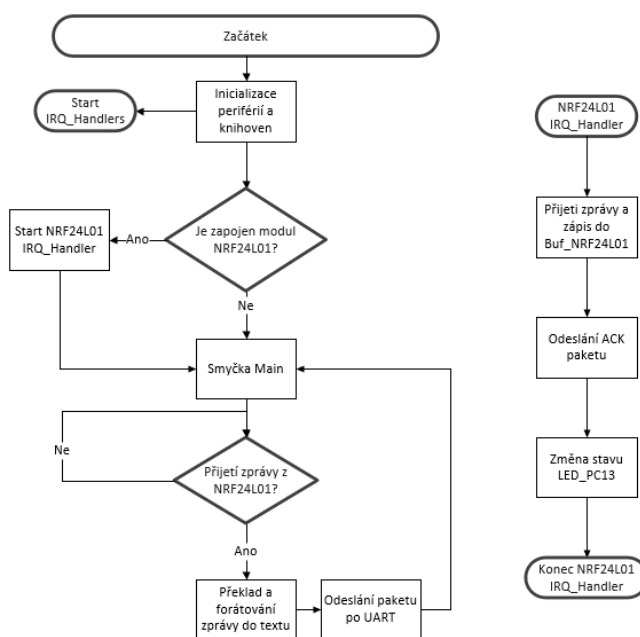
Tabulka 18 – Datový paket CAN zprávy Arduino Due

CAN ID	Data [0]	Data [1]	Data [2]	Data [3]	Data [4]	Data [5]	Data [6]	Data [7]
0x332	Light_1	Light_2	X	X	X	X	X	X

STM32F103C8T6 (modul přijímače)

Na Obr. 58 je vyobrazen vývojový diagram desky pro příjem dat po bezdrátové síti. Zde je na začátku opět inicializace veškerých periférií, knihoven pro řízení jednotlivých periférií a spuštění přerušovacích rutin.

Zde je pouze hlavní přerušovací rutina, a to od modulu přijímače NRF24L01, která zpracuje přijatý paket s daty a následně odešle potvrzovací paket. Po úspěšném odeslání je provedena změna stavu signalizační LED diody na portu PC13.



Obr. 58 – Vývojový diagram jednotky pro příjem dat v bezdrátové síti

Hlavní smyčka má pak za úkol kontrolovat, zda byly modulem přijaty data. Pokud ano, je následně provedeno zpracování dat do požadovaného formátu a následně odeslána po sběrnici UART do PC.

Tabulka 19 – Datový paket komunikace UART do PC

MSB	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Data	ADC	Duty_Cycle	Increment	PB_12	PB_14	X_axis	Y_axis	Joy_Btn	Light

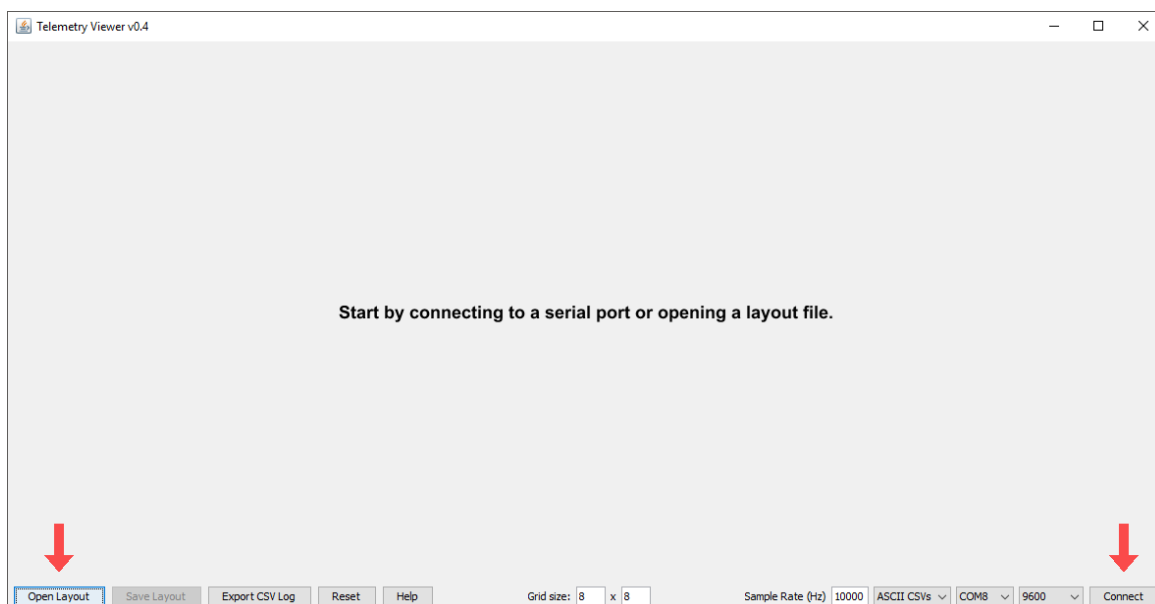
V tabulce 19 jsou data, která jsou odesílány po sběrnici **UART**. Data je třeba před odesláním upravit do textového pole, to je provedeno pomocí funkce **snprintf**, kdy jsou jednotlivé data zapsány postupně za sebou. Pro správnou práci se softwarem pro zobrazení dat, který je popsán v následující podkapitole 6.4, je třeba dodržet správné formátování, kde každá

proměnná má pevně danou velikost 7 bajtů. V tomto případě je formát zprávy zapsán jako „,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d\r\n“ s pevnou délkou 63 bajtů.

6.4 Zobrazování dat v reálném čase

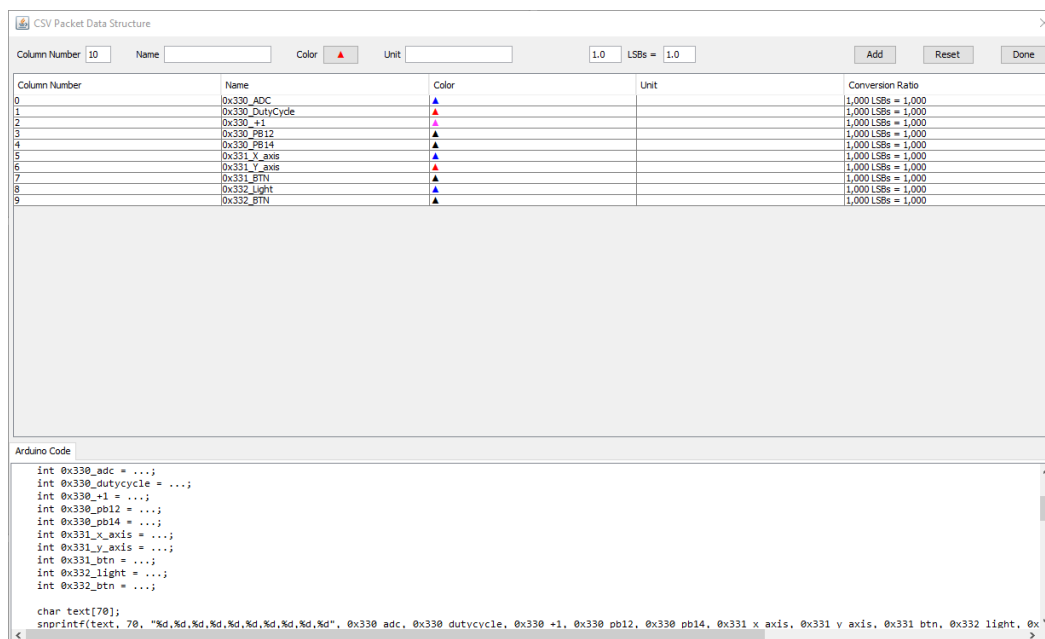
Pro zobrazování dat v reálném čase na straně PC je využit open-source software Telemetry Viewer v0.4 od vývojáře Farrell Farahbod. Tento software je napsán v jazyce Java a nabízí jednoduché prostředí pro čtení a zobrazování dat z COM portu.

Při spuštění se zobrazí hlavní okno programu (Obr. 59), kde je pomocí menu ve spodní liště na pravé části možné provést nastavení COM portu pro přijímání zpráv a na straně levé pak uložení nebo načtení nastaveného zobrazovacího okna a export dat získaných během připojení. Počet polí okně je možno libovolně nastavit ve střední části lišty menu.



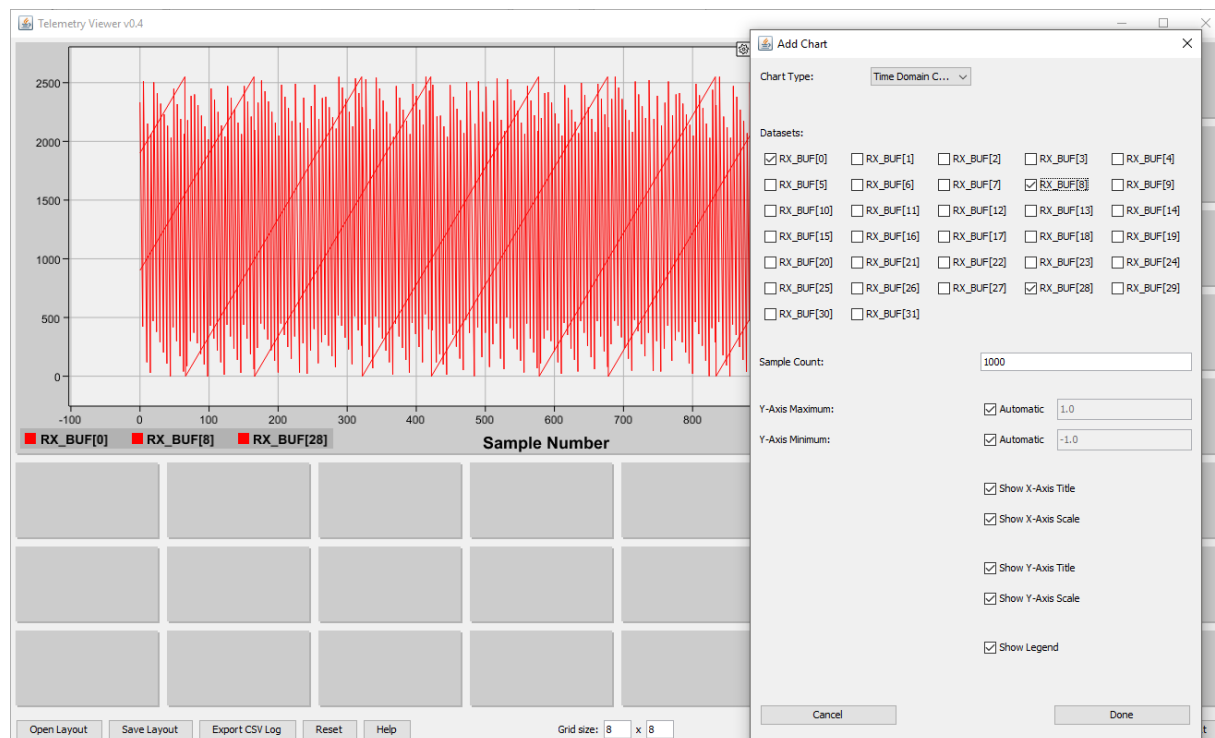
Obr. 59 – Úvodní okno programu Telemetry Viewer v0.4

Při otevření konfiguračního okna COM portu (Obr. 60) se zobrazí okno, kde je nutno přesně nastavit pořadí jednotlivých dat a jejich formát, ve kterém jsou do PC odesílána pro správné zpracování a zobrazení v jednotlivých grafech (viz. Tabulka 19 – Datový paket komunikace UART do PC). Je zde také možno nastavit barvu, názvy, jednotky a převodní poměr jednotlivých dat. Bohužel software prozatím nenabízí pozdější úpravu jednotlivých dat, tudíž je třeba vše nakonfigurovat najednou.



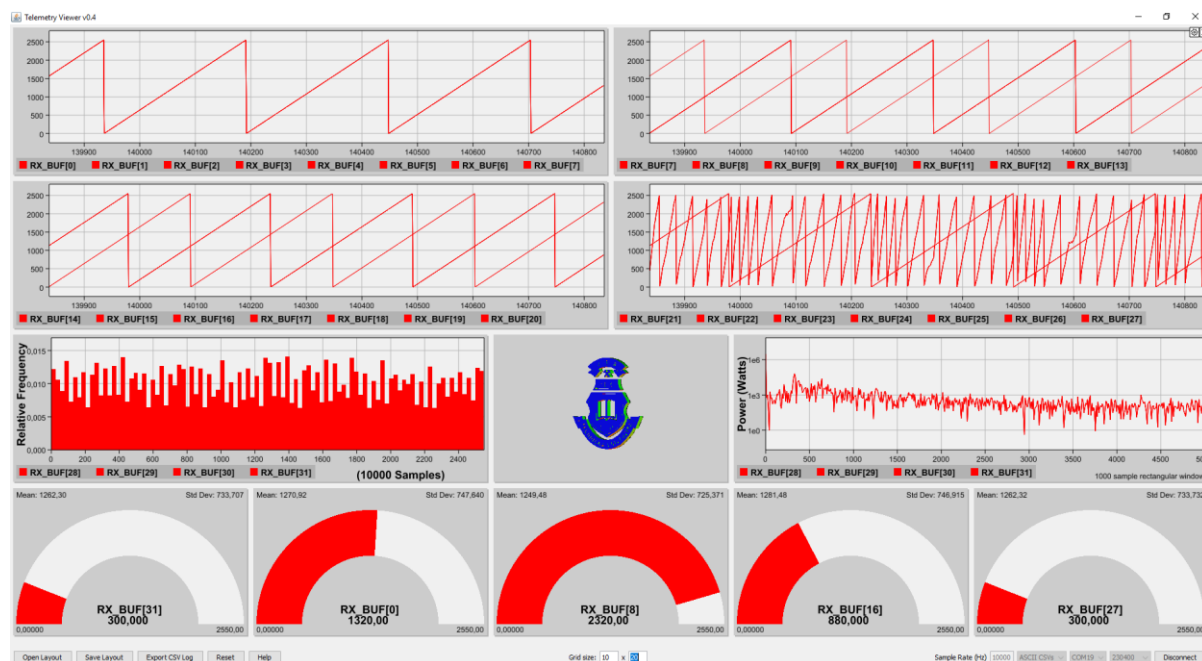
Obr. 60 – Konfigurační okno dat v programu Telemetry Viewer v0.4

V hlavním zobrazovacím okně je možné přidat graf do kteréhokoli pole, které je vytvořeno kliknutím a tažením kurzoru dle potřeby. Po zvolení pole se zobrazí vyskakovací okno (Obr. 61), kde je možnost výběru požadovaného typu grafu a k těm poté přiřadit jednotlivá data, která budou v grafu zobrazena. Je zde také možnost nastavit jednotlivé rozsahy os a zobrazení legendy grafu.



Obr. 61 – Konfigurační okno grafů v programu Telemetry Viewer v0.4

- Time Domain Chart – Zobrazuje data v závislosti na čase
- Frequency Domain Chart – Zobrazení dat v závislosti na frekvenci
- Histogram Chart – Zobrazení dat v histogramu
- Dial Chart – Zobrazení dat ve sloupcovém tvaru
- Quaternion Chart – Zobrazení dat v závislosti na kvaternionu čtyř dat, který způsobuje rotaci modelu (logo VŠB). Využívá se pro znázornění náklonu ve všech třech směrech.



Při exportu jsou data uložena do formátu .csv, který je možno otevřít např. v programu Excel (Obr. 63), kde je poté nutno provést přetřídění dat do jednotlivých sloupců pomocí oddělovacího znaku, v tomto případě je to znak čárky. Maximální velikost souboru je stanoven maximálním počtem řádků softwaru Excel, který je omezen na 1 048 576 řádků, kde na každý řádek připadá jeden přijatý datový rámeček. Nicméně je možné využít např. aplikaci WordPad, který toto omezení nemá.

Obr. 63 – Exportovaná data z programu Telemetry Viewer v0.4

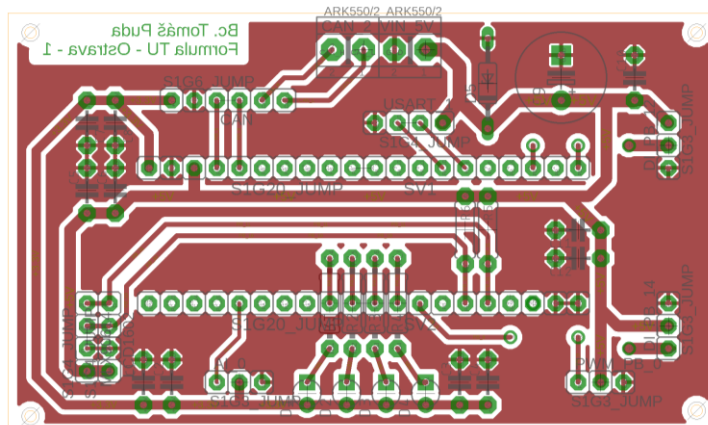
6.5 Vývoj hardware

Pro vývoj hardwarové části jednotlivých řídicích jednotek byl využit software EAGLE umožňující návrh desek plošných spojů (PCB, DPS). Obsahuje například funkce jako *auto-route* a 3D zobrazení. Společnost byla v roce 2016 odkoupena společností Autodesk a od té doby neustále zlepšuje její funkce jako např. ukládání na cloud a vzájemnou kompatibilitu se softwarem Fusion 360, pro již zmíněné prostorové zobrazení plošného spoje.

STM32F103C8T6

Pro tento vývojový modul byla navržena základní deska, do které je modul možno usadit a kdykoli vyjmout v případě poruchy. Na obr. 64 je návrh základní desky, která zpracovává data z jednoho analogového a dvou digitálních vstupů. PWM výstup řídí intenzitu LED diody.

- 2x Digitální vstup (0–5 V)
- 1x Analogový vstup (0–3,3 V)
- 1x PWM výstup (0–3,3 V)
- 4x Digitální výstup
- 1x I²C, CAN Bus, USART



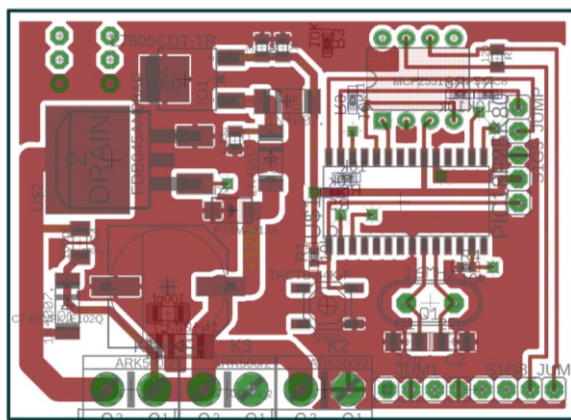
Obr. 64 – Návrh DPS základní desky pro STM32F103

PIC18F25K80

První jednotka zapojená v síti je osazena 8bitovým mikrokontrolerem PIC18F25K80, který pracuje na taktu 16 MHz, velikost Flash paměti je 32 KB a velikostí SRAM 3,7 KB. Na Obr. 65 je zobrazen návrh desky plošného spoje, jehož základní parametry jsou:

- 2x Analogový vstup
- 2x Digitální vstup
- 2x PWM výstup (1x výkonový)
- 1x CAN Bus
- Napájecí napětí +12 V

Tento modul řídicí jednotky je tedy možno využít pro základní aplikace jako je například měření teplot z NTC snímačů, tlaku či podtlaku, úhlu natočení a zdvihu. Jednotku je ale také možno využít k řízení například motoru čerpadla, servopohonu a světel.



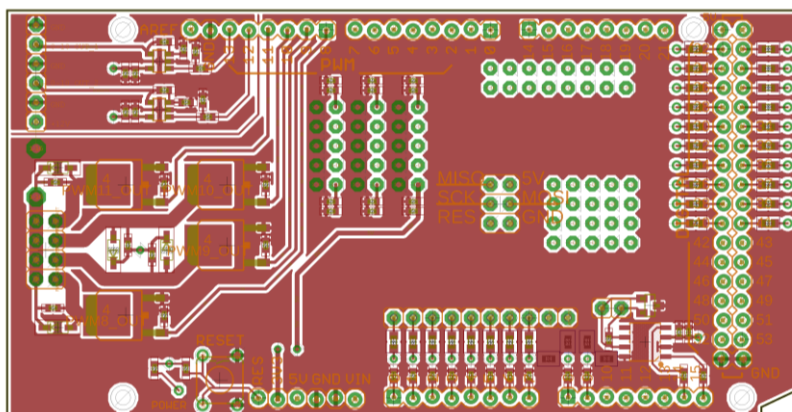
Obr. 65 – Návrh DPS řídicí jednotky PIC18F25K80

Tato jednotka slouží ke zpracování analogového signálu z modulu joysticku, kde zpracovaná data poté posílá do distribuované sítě pro další možné zpracování. Zároveň je také k modulu připojena LED dioda jejíž intenzitu je možné nastavit pomocí příslušné zprávy ze sítě.

Arduino Due

Jelikož se jedná o základní vývojovou desku s vyvedenými piny, bylo třeba navrhnout desku plošného spoje, kterou bude možno odjímat neboli tzv. shield. Na Obr. 66 je zobrazen návrh této desky, která opět umožňuje univerzální použití, jejíž základní parametry jsou:

- 20x Digitální vstup (5 V)
- 10x Analogový vstup (5x 0–10 V, 5x 0–5 V)
- 2x Analogový výstup (0–10 V)
- 4x Výkonový PWM výstup
- 1x I²C, SPI, CAN Bus, USART



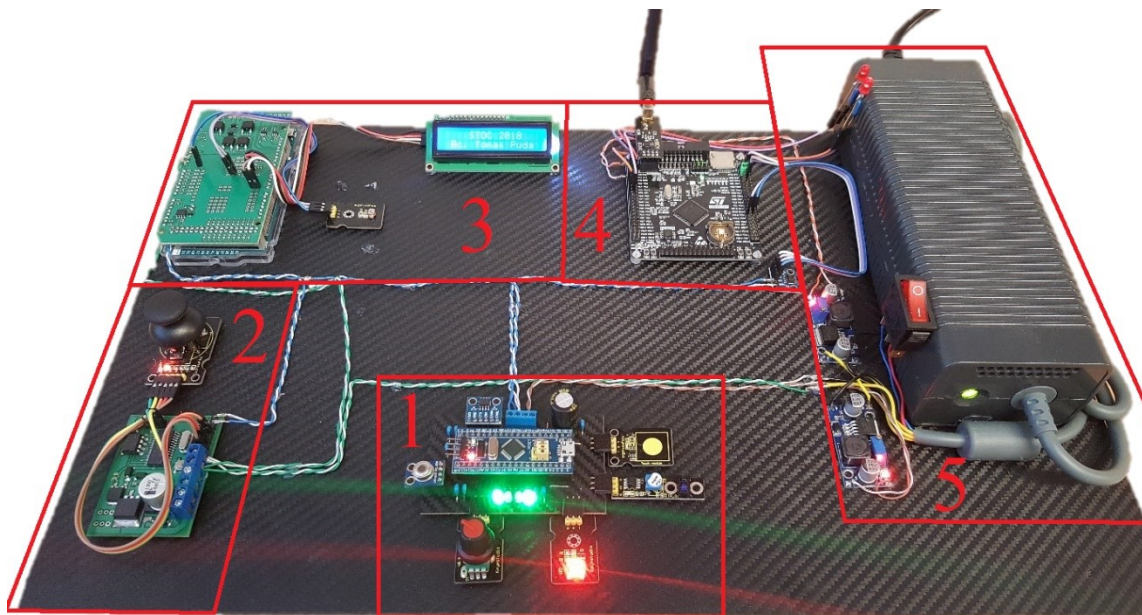
Obr. 66 – Návrh DPS shieldu pro Arduino Due

Testovací model

Jednotlivé řídicí jednotky byly vyrobeny a propojeny do společné komunikační CAN Bus sítě (Obr. 67). Model je rozdělen do 5 bloků označených číslicemi 1 až 5. První blok obsahuje řídicí jednotku STM32F103C8T6, kde je ve spodní části napojen potenciometr a červená LED dioda řízená PWM signálem. Zelené diody jsou kontrolní LEDky a na pravé straně se pak nachází kapacitní dotykový a IR snímač.

Ve druhém bloku je umístěna řídicí jednotka PIC18F25K80, která zpracovává dva analogové a jeden digitální signál z joysticku umístěného nad řídicí jednotkou.

Třetí blok obsahuje řídicí jednotku Arduino Due s osazeným „shieldem“, na který je napojen snímač intenzity osvětlení a LCD displej umístěný po pravé straně.



Obr. 67 – Testovací model distribuovaného systému CAN Bus sběrnice

Ve čtvrtém bloku je umístěna řídicí jednotka STM32_F4VE, která zpracovává a ukládá veškerá data na sběrnici CAN Bus a zároveň odesílá jednotlivá data po bezdrátové síti do modulu přijímače (Obr. 68), který je napojen do PC.

Poslední pátý blok obsahuje spínaný napájecí zdroj s výstupním napětím 12 V a maximálním proudem 11 A. Jelikož mají všechny řídicí jednotky vstupní napětí 5 V, bylo třeba použít DC-DC pulzní měniče, které napětí sníží.



Obr. 68 – Modul přijímače nRF24L01

Na Obr. 68 je zobrazen modul přijímače, který je napojen do PC. Skládá se ze tří modulů, a to řídicí jednotky STM32F103C8T6, modulu nRF24L01 a převodníku UART-USB, který také zajišťuje napájení celé sestavy modulu přijímače.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce zkoumá moderní trendy automobilového průmyslu se zaměřením na sběr jízdních dat pro oblast motorsportu s následným vývojem vlastního konstrukčního řešení distribuovaného systému s centrální jednotkou pro sběr dat ze závodní formule týmu Formula TU Ostrava.

Mnou vyvinutý distribuovaný systém se skládá z několika jednotek, které jsou založeny na různých typech mikroprocesoru, čímž je znázorněna univerzálnost celého systému. Pro komunikaci mezi jednotlivými jednotkami je využita sběrnice CAN Bus s rychlostí 500 kb/s, jenž je dána z důvodu kompatibility s řídicí jednotkou motoru, která má tuto rychlost pevně stanovenou. Systém je také schopen posílat zvolená data po bezdrátové síti do PC, kde mohou být tato data sledována v reálném čase. Samotné řídicí jednotky jsou pak založeny na mikroprocesorech PIC18F25K80 a STM32Fxxx a také na dnes velmi známé vývojové platformě Arduino Due.

Řídicí jednotka s mikroprocesorem STM32F103C8T6 má v systému za úkol zpracovávat jeden analogový, dva digitální vstupní signály, řídit střidu PWM signálu a inkrementovat vnitřní proměnnou, kde jsou tato data dále posílána do centrální jednotky pro zpracování. Řídicí jednotka osazená mikroprocesorem PIC18F25K80 má za úkol zpracovávat dva analogové a jeden digitální vstupní signál, které poté opět pošle do centrální jednotky pro zpracování. Poslední řídicí jednotka založená na vývojové platformě Arduino Due má poté za úkol zpracovávat data z jednoho analogového vstupního signálu a obsluhu LCD displeje, jenž zobrazuje zpracovaná data.

Hlavní centrální jednotka, která je osazena mikroprocesorem STM32F407VE má za úkol zpracovávat veškerá data, která na sběrnici CAN Bus jsou a průběžně je ukládat na SD kartu a souběžně posílá zvolená data po bezdrátové síti do přijímače, který je napojen do PC, kde je možné tyto data sledovat v reálném čase pomocí softwaru TelemetryViewer. Veškerá data je poté možno vyexportovat pro pozdější analýzu.

Tato varianta představuje jednu z více možností, jak by takovýto systém mohl pracovat. Aby systém pracoval bezporuchově, bylo by potřeba provést rozsáhlé testování a hledání chyb. Tento testovací proces ve vývojové fázi zabere mnohdy i několik měsíců.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABDUL RAHIM, B. A S.KRISHNAVENI. *Comparsion of CAN, TTP and FlexRay Communication Protocols. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2014. [cit. 2018-04-11]. ISSN 2320-9801.

ARDUINO, [online]. 2018 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <<https://www.arduino.cc/>>

ARDUINO-SHOP.CZ, *Arduino infračervený teploměr MLX90614ESF-BA* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/1159-arduino-infracerveny-teplomer-mlx90614esf-ba-1449949106.html>>

ARDUINO-SHOP.CZ, *Arduino GPS modul* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/906-arduino-gps-modul-1420740709.html>>

ARDUINO-SHOP.CZ, *IIC I2C Gyroskop + Akcelerometr Modul MPU-6050* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino-vstupni-periferie/830-arduino-gyroskop-akcelerometr-1500635992.html>>

ARDUINO-SHOP.CZ, *Arduino modul bezdrátový NRF24L01+PA+LNA* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/882-arduino-wifi-modul-bezdratovy-1420494129.html>>

ARDUINO-SHOP.CZ, *Vývojová deska ARM STM32F103C8T6 STM32* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/1135-vyvojova-deska-arm-stm32f103c8t6-stm32-1449882767.html>>

AUTOMATIZACE.KVALITNE.CZ, *Senzor tlaku kapalin nebo plynů, snímač, tlakoměr* [online]. 2018 Dostupné z: <<http://www.automatizace.kvalitne.cz/senzory/112-sensor-tlaku-kapalin-nebo-plynu-tlakomer-g14.html>>

BALÁTĚ J., *Automatické řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-020-2.

- BARTOŠÍK P., *Patnáct let sběrnice CAN. Automa*, 2001, č.11. DOI:1210-9592, [online].
Dostupné z: <<https://www.kvaser.com/software/7330130980914/V1/can2spec.pdf>>
- BEAGLEBONE. *Beaglebone black* [online]. 2018 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:
<<https://beagleboard.org/black-wireless>>
- BEZDÍČEK JAN, *Telemetrie pro formuli Dragon IV*, Diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014 [cit. 2018-04-11]
- CORRIGAN S., *Introduction to the Controller Area Network (CAN). Application Report. 2016*, [online]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>>
- DEVZONE, *Intro to ShockBurst/Enhanced ShockBurst* [online]. 2015 Dostupné z:
<<https://devzone.nordicsemi.com/b/blog/posts/intro-to-shockburstenhanced-shockburst>>
- ESCAPE6, *PROSPORT snímač teploty vody/oleje pro sérii Premium* [online]. 2018
Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>>
- FARAHBOD, F., *Telemetry Viewer v0.4. Farrell's Blog* [online]. 2017 [cit. 2018-04-11]
Dostupné z: <http://www.farrellf.com/projects/software/2017-07-21_Telemetry_Viewer_v0.4/>
- FARANA R., SMUTNÝ, L., VÍTEČEK, A., VÍTEČKOVÁ M. & WAGNEROVÁ, R. *Doporučení pro psaní odborných textů z oblasti automatizace a informatiky*. 1. vyd. Ostrava: Katedra ATŘ VŠB-TU Ostrava, 2008. 80 s. ISBN 978-80-248-1925-9
- FORMULA SEVEN, *Formula Seven Pro Steering Rack* [online]. 2018 Dostupné z:
<<http://www.formula-seven.com/shop-products/steering-racks-w-rotative-sensor/>>
- FORMULA STUDENT GERMANY, *Formula Student Germany international design competition* [online]. Dostupné z: <<https://www.formulastudent.de/about/concept/>>
- INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, *Formula Student* [online]. 2018 Dostupné z:
<<http://www.imeche.org/events/formula-student>>

- IXIA, *Automotive Ethernet: An Overview* [online]. 2014 Dostupné z: https://support.ixiacom.com/sites/default/files/resources/whitepaper/ixia-automotive-ethernet-primer-whitepaper_1.pdf
- KUTIOVÁ K., *Návrh ramen zavěšení vozu Formula Student*, diplomová práce, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2017, 75 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Krasula.
- MICROCHIP. *PIC18F25/26K83* [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001943A.pdf>
- MILLER, G., *Automotive Communication Protocols: Preparing for the Future. EECatalog* [online]. 2013 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://eecatalog.com/automotive/2013/03/13/automotive-communication-protocols-preparing-for-the-future/>
- MOST. [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://w220.ee/MOST>
- NATIONAL INSTRUMENTS. *FlexRay Automotive Communication Bus Overview* [online]. 2016 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3352/en/>
- PJRC. *Teensy Technical Specifications* [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://www.pjrc.com/teensy/techspecs.html>
- POLÁK K., *Sběrnice CAN. Elektrorevue*. 2003, roč.5, č. 3. DOI: 1213-1539. [online]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- PTÁČEK Z., *Agregátor bezdrátové senzorické sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2015. 38 s., 2 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.
- PUDA T., *Laboratorní model ABS jednotky automobilu*, Bakalářská práce, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta USP, Mechatronika, 2016 47 s. Vedoucí práce: Ing. Kulháněk Jiří, Ph.D.

ROBERT BOSCH GMBH, *CAN Specification: Version 2.0*. Stuttgart, 1991, 73 s. [online].

Dostupné z: <<https://www.kvaser.com/software/7330130980914/V1/can2spec.pdf>>

SAE INTERNATIONAL, *2017-18 Formula SAE® Rules* [online]. Dostupné z:

<<https://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>>

SCHMID, DIETMAR. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ.

Praha: Europa – Sobotáles, 2005. ISBN 80-86706-10-9.

SKOPAL L., *Asistenční systémy – protiblokovací systém ABS, USP-Mechatronika* VŠB-TUO,

2012. 65 s. Diplomová práce, vedoucí: Ing. Šimoník Petr, Ph.D.

STM32DUINO. *STM32F407* [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z:

<<http://wiki.stm32duino.com/index.php?title=STM32F407>>

STMICROELECTRONICS. *STM32F407* [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z:

<<http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>>

STMICROELECTRONICS. *STM32F407xx* [online]. 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z:

<<http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f405rg.pdf>>

SUTORÝ, T., LIN (LOCAL INTERCONNECT NETWORK), *Elektrorevue* [online]. Ústav radioelektroniky, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004 Dostupné z:

<<http://www.elektrorevue.cz/clanky/04012/index.html>>

ŠTĚPÁN M., *Realizace ESP algoritmu v prostředí LabView cRIO*, Diplomová práce, FS VŠB

– TUO, 2014 102 s. Vedoucí práce: Ing. Kulhánek Jiří, Ph.D.

SRS, *Thermistor Calculator v1.1* [online]. 2018 Dostupné z:

<<http://www.thinksrs.com/downloads/programs/Therm%20Calc/NTCCalibrator/NTCCalculator.htm>>

SAUERWALD, M., TEXAS INSTRUMENTS, *CAN bus, Ethernet, or FPD-Link: Which is best for automotive communications?* [online]. 2018 Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/an/slyt560/slyt560.pdf>>

TME, *Indukční čidlo HIGHLY TS12-02P-2* [online]. 2018 Dostupné z: <<https://www.tme.eu/cz/details/ts12-02p-2/indukcni-cidla-valcova-dc/highly/>>

URBAN P., *Model riadenia ABS*, Ostrava: kat. ATŘ – 352 VŠB-TUO, 2011. 47 s. Bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Kočí Petr, Ph.D.

VOJÁČEK, A. *LIN – Local Interconnect Network. Automatizace.hw.cz* [online]. 2004 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <<https://automatizace.hw.cz/clanek/2005101501>>

VOJÁČEK, A. *Sběrnice a komunikace FlexRay nejen pro automobily. Automatizace.hw.cz* [online]. 2007 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <<https://automatizace.hw.cz/sbornice-komunikace-flexray-nejen-pro-automobily>>

VŠB-TUO, *Projektové stránky ExperimentalCar* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <experimentalcar.vsb.cz>

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obr. 1 – Monopost týmu Formula TU Ostrava Vector 03	13
Obr. 2 – Schématické znázornění distribuované sítě.....	14
Obr. 3 – Datalogger Bosch-Motorsport C70 (Bosch Motorsport,2018)	15
Obr. 4 – Schéma distribuované sítě s komponenty Bosch Motorsport	16
Obr. 5 – Datalogger MoTeC EDL3 (MoTeC, 2018).....	17
Obr. 6 – Schéma sítě telemetrie MoTeC T2 (převzato z MoTeC, 2018)	18
Obr. 7 – Schéma distribuované sítě s komponenty MoTec.....	18
Obr. 8 – Datalogger Aim EVO5 (Aimshop, 2018)	19
Obr. 9 – Schéma distribuované sítě s komponenty Aim	20
Obr. 10 – Datalogger Vector GL1000 (Vector, 2018)	20
Obr. 11 – KP94B lineární potenciometr (KA Sensors, 2018).....	22
Obr. 12 – RHL3 bezkontaktní laserový snímač vzdálenosti (KA Sensors, 2018)	23
Obr. 13 – KWP lankový potenciometr (KA Sensors, 2018)	23
Obr. 14 – KR22 snímačúhlu natočení (KA Sensors, 2018)	24
Obr. 15 – NTC1 snímač teploty (KA Sensors, 2018).....	24
Obr. 16 – KIR3 bezkontaktní infračervený snímač teploty (KA Sensors, 2018).....	25
Obr. 17 – SP snímače rychlosti otáčení kol (KA Sensors, 2018).....	25
Obr. 18 – Snímač tlaku ASLA (KA Sensors, 2018).....	26
Obr. 19 – MM5.10-R snímač zrychlení a náklonu (Bosch Motorsport, 2018)	26
Obr. 20 – Křivka vývoje a použití komunikačních sběrnic (převzato z Miller, 2013)..	27
Obr. 21 – Typické rozmístění řídicích jednotek s typy použitých komunikačních sběrnic (převzato z Abdul Rahim, B. a S. Krishnaveni, 2014)	28
Obr. 22 – Datová struktura Std zprávy CAN (převzato z Corrigan S., 2016).....	30
Obr. 23 – Datová struktura Ext zprávy CAN (převzato z Corrigan S., 2016).....	31

Obr. 24 – Formát rámce zprávy protokolu LIN (převzato ze Sutorý, 2004).....	32
Obr. 25 – Zapojení jednotek v síti FlexRay (převzato z National Instruments, 2016)..	35
Obr. 26 – Topologie Multi-drop (převzato z National Instruments, 2016)	35
Obr. 27 – Topologie Star (převzato z National Instruments, 2016)	36
Obr. 28 – Topologie Hybrid (převzato z National Instruments, 2016)	36
Obr. 29 – Datový rámec FlexRay protokolu (převzato z National Instruments, 2016)	37
Obr. 30 – Sběrnice MOST (převzato z MOST,2017)	38
Obr. 31 – Systémy v síti Automotive Ethernet (převzato z Ixia, 2014)	40
Obr. 32 – Dnešní topologie (vlevo), topologie při použití Automotive Ethernet (Ixia, 2014).....	42
Obr. 33 – Vývojová deska Arduino Due (Arduino, 2017).....	43
Obr. 34 – Vývojová deska Teensy 3.6 (Pjrc, 2018)	44
Obr. 35 – Vývojová deska Beaglebone Black (BeagleBoard, 2018)	45
Obr. 36 – Mikroprocesor PIC18F25K83 (Microchip, 2018)	46
Obr. 37 – Mikroprocesor STM32 (STMicroelectronics, 2018)	46
Obr. 38 – Návrh koncepčního propojení jednotek po sběrnici CAN Bus	47
Obr. 39 – NTC snímač teploty (ESCAPE6, 2018).....	48
Obr. 40 – Statická charakteristika snímače teploty	49
Obr. 41 – IR teploměr MLX90614 (Arduino-shop.cz, 2018)	49
Obr. 42 – Snímač tlaku kapalin (Automatizace.kvalitne.cz, 2018).....	50
Obr. 43 – Snímač úhlu natočení (vlevo) a jeho uložení v převodovém ústrojí tyče řízení(vpravo) (Formula Seven, 2018)	51
Obr. 44 – Indukční snímač pro měření rychlosti (TME, 2018).....	51
Obr. 45 – GPS modul Neo-6M (Arduino-shop.cz, 2018)	52
Obr. 46 – Modul akcelerometru a gyroskopu s MEMS čipem MPU-6050 (Arduino-shop.cz, 2018).....	52

Obr. 47 – Modul nRF24L01+PA+LNA pro bezdrátovou komunikaci (Arduino-shop.cz, 2018).....	53
Obr. 48 – Struktura datového paketu protokolu Enhanced Shockburst (převzato z DevZone, 2015)	54
Obr. 49 – Struktura PCF pole datového paketu (převzato z DevZone, 2015).....	55
Obr. 50 – Vývojová deska Blue Pill (Arduino-shop.cz, 2018)	56
Obr. 51 – Vývojová deska STM32_F4VE (STM32duino, 2018)	56
Obr. 52 – Logo STM32CubeMX a TrueSTUDIO (STMicroelectronics, 2018).....	57
Obr. 53 – Vývojový diagram hlavní logovací jednotky STM32_F4VE	58
Obr. 54 – Zobrazení uložených dat na SD kartě	60
Obr. 55 – Vývojový diagram jednotky pro příjem dat v bezdrátové síti.....	64
Obr. 56 – Úvodní okno programu Telemetry Viewer v0.4	65
Obr. 57 – Konfigurační okno dat v programu Telemetry Viewer v0.4.....	66
Obr. 58 – Konfigurační okno grafů v programu Telemetry Viewer v0.4	66
Obr. 59 – Hlavní zobrazovací okno programu Telemetry Viewer v0.4.....	67
Obr. 60 – Exportovaná data z programu Telemetry Viewer v0.4	68
Obr. 61 – Návrh DPS základní desky pro STM32F103	69
Obr. 63 – Návrh DPS řídicí jednotky PIC18F25K80.....	69
Obr. 64 – Návrh DPS shieldu pro Arduino Due.....	70

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Technické parametry jednotky C70 (Bosch Motorsport,2018).....	15
Tabulka 2 – Technické údaje jednotky MoTeC EDL3 (MoTeC, 2018)	17
Tabulka 3 – Technické údaje jednotky Aim EVO5 (Aimshop, 2018)	19
Tabulka 4 – Parametry dataloggeru Vector GL1000 (Vector, 2018).....	21
Tabulka 5 – Doporučené přenosové rychlosti protokolu LIN	33
Tabulka 6 – Technické údaje Arduino Due (Arduino, 2017).....	43
Tabulka 7 – Technické údaje Teensy 3.6 (Pjrc, 2018)	44

Tabulka 8 - Technické údaje MLX90614 (Arduino-shop.cz, 2018)	49
Tabulka 9 – Technické údaje snímače tlaku (Automatizace.kvalitne.cz, 2018)	50
Tabulka 10 – Technické údaje indukčního snímače (TME, 2018)	51
Tabulka 11 – Technické údaje GPS modulu Neo-6M (Arduino-shop.cz, 2018)	52
Tabulka 12 – Technické údaje MPU-6050 (Arduino-shop.cz, 2018)	53
Tabulka 13 - Zdroje přerušení a nastavení priorit	58
Tabulka 14 – Datový paket CAN zprávy STM32F103C8T6.....	62
Tabulka 15 – Datový paket CAN zprávy PIC18F25K80	62
Tabulka 16 – Datový paket CAN zprávy Arduino Due	63
Tabulka 17 – Datový paket komunikace UART do PC	64

SEZNAM PŘÍLOH

- A. Elektrické schéma STM32F103C8T6
- B. Elektrické schéma PIC18F25K80
- C. Elektrické schéma shieldu Arduino Due
- D. Diplom soutěže STOČ2018

Proto_Board_2
24.04.2018 17:15
Sheet: 1/1
6

